

**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 18.09.2018.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 29,125. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 953.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

РЕГИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

3(36)/2018

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ..... 5

Шеховцова С.Ю., Королев Е.В.
ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО ОПЫТА
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЮНИВАТОРОВ
ДЛЯ РЕВЕРСИНГА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ
ПОКРЫТИЙ 5

Гаврилов М.А., Смирнов В.Ф., Ерофеев В.Т.
ОБРАСТАЕМОСТЬ МИЦЕЛИАЛЬНЫМИ ГРИБАМИ
ОБРАЗЦОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ
В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ 17

**Максимова И.Н., Макридин Н.И.,
Ерофеев В.Т., Полубарова Ю.В.**
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КИНЕТИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИОННОЙ
ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ
В ДИАПАЗОНЕ ВРЕМЕНИ ОТ 28 СУТОК
ДО 4,5 ЛЕТ ПОСЛЕ ПРОПАРКИ 23

**Максимова И.Н., Макридин Н.И.,
Ерофеев В.Т., Туманова Н.Н.**
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
И ПРОЦЕДУРЫ ДОЗИРОВАНИЯ
СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА
НА ЭНЕРГИЮ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ
ПРИ СИЛОВОМ РАЗРУШЕНИИ ЦЕМЕНТНОГО
КАМНЯ В ИНТЕРВАЛЕ ВРЕМЕНИ 18 ЛЕТ 31

**Вапиров Ю.М., Лаврентьева К.Г.,
Старцев О.В., Ерофеев В.Т.**
МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ДРЕВЕСИНЫ С ВОДОЙ 40

Толстой А.Д., Лесовик В.С., Крымова А.И.
СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ
САМООРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ
В ТЕОРИИ ТВЕРДЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ
ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ 49

Данилов А.М., Гарькина И.А.
КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ КОМПОЗИТОВ
КАК СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: СОСТОЯНИЕ
И ПЕРСПЕКТИВЫ 56

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

Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Пронин Д.Н. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ 62	Гучкин И.С., Ласьков Н.Н., Артюшин Д.В. ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПИРАМИДАЛЬНЫХ РАДИОБАШЕН ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ПОВОЛЖСКОГО РЕГИОНА 136
Данилов А.М., Гарькина И.А. МЕТОДЫ ТЕОРИИ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ 71	Вловин В.М., Карпов В.Н. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ КЛЕЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ ПЕРЕКРЫТИЯ С ЦЕЛЬНОДЕРЕВЯННЫМИ И КОМБИНИРОВАННЫМИ НЕСУЩИМИ РЕБРАМИ 142
Логанина В.И., Мажитов Е.Б. ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВНЕШНЕГО ВИДА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИСИЛИКАТНЫХ РАСТВОРОВ 75	Усачев А.П., Шурайц А.Л., Бирюков А.В., Хомутов А.О. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАСОРЕНИЯ ОДНОЙ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ СЕТКИ МЕХАНИЧЕСКИМИ ПРИМЕСЯМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НА ФИЛЬТРУЮЩЕМ КАРТРИДЖЕ ГРУБОЙ ОЧИСТКИ 148
Логанина В.И., Мажитов Е.Б. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ЗОЛЬ-СИЛИКАТНЫХ ПОКРЫТИЙ 80	Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Киселёв С.О. КОНТАКТНЫЙ АППАРАТ С ВИБРОНАСАДКОЙ ДЛЯ УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА 155
Жегера К.В., Пышкина И.С. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АМОРФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ В СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЯХ 85	Андреев С.Ю., Яркинд М.И., Гарькина И.А. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕХОДА РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРУБЧАТОМ СМЕСИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ В ОБЛАСТЬ РАЗВИТОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ 161
Карпова О.В. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ – ГАРАНТИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ОТДЕЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ 91	Вилкова Н.Г., Мишина С.И., Шатина Е.А. ВЛИЯНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕН, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В СТОЧНЫХ ВОДАХ 172
Бормотов А.Н., Бормотова А.А. ИНТЕГРИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СИНТЕЗА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ 97	Еремкин А.И., Баканова С.В., Алексеева Т.В. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИГРОСКОПИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С КОНДИЦИОНИРОВАННЫМ ВОЗДУХОМ 178
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ 104	Осипова Н.Н., Гришин Б.М., Грейсух Г.И., Ежов Е.Г. РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ БАЛЛОННЫХ УСТАНОВОК СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА 184
Селяев В.П., Селяев П.В., Алимов М.Ф., Гарьнкина Е.Н., Сорокин Е.В. ОЦЕНКА РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА, ПОДВЕРЖЕННОГО ДЕЙСТВИЮ ХЛОРИДНОЙ КОРРОЗИИ, ПО ПРОЧНОСТИ НАКЛОННОГО СЕЧЕНИЯ 104	Гришин Б.М., Кошев А.Н., Шеин А.И., Салмин С.М. ЗЕРНИСТЫЕ ФИЛЬТРЫ С НАМЫВНЫМ СЛОЕМ СОРБЕНТА ДЛЯ ДООЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД ... 194
Шеин А.И., Зернов В.В., Зайцев М.Б. АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ КРЫШ ЖИЛЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ 116	
Комаров В.А., Болдырева О.В. ИССЛЕДОВАНИЯ КОРОТКИХ КОНСОЛЕЙ РИГЕЛЕЙ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСОВ: РАСЧЁТНЫЕ СХЕМЫ РАБОТЫ В НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЯХ 125	
Гарькин И.Н., Глухова М.В. МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ 130	

АРХИТЕКТУРА	199	Береговой А.М., Береговой В.А. ВЫБОР КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЗДАНИЯ	223
Хомяков А.И. ЗНАКИ МЕСТА: РЕГИОНАЛЬНЫЕ МЕМОРИАЛЬНО-МУЗЕЙНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ..	199	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	229
Махаев В.Б. ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ г.ТЕМНИКОВА	205	Васин Л.А. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛИЗАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ВУЗА	229
Девликамов А.Ф., Херувимова И.А. ЗАРУБЕЖНАЯ ПРАКТИКА КОМПЕНСАЦИОННОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ	214		

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	5	Danilov A.M., Garkina I.A. CONCEPTUAL MODELS OF COMPOSITES AS COMPLEX SYSTEMS: STATUS AND PROSPECTS	56
Shekhovtsova S.Yu., Korolev E.V. MODERN EXPERIENCE OF USING REJUVENATORS FOR ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS REVERSING	5	Cherkasov V.D., Buzulukov V.I., Pronin D.N. A STUDY OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FINE-DISPERSE ADDITIVES ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITES..	62
Gavrilov M.A., Smirnov V.F., Erofeev V.T. MISCELIAL FUNGI GROWTH ON THE SAMPLES OF MODIFIED EPOXY COMPOSITES IN NATURAL CONDITIONS	17	Danilov A.M., Garkina I.A. METHODS OF THE THEORY OF ERGATIC SYSTEMS IN MATERIALS SCIENCE.....	71
Maksimova I.N., Makridin N.I., Erofeev V.T., Polubarova Yu.V. COMPLEX EVALUATION OF KINETIC PARAMETERS OF STRUCTURAL STRENGTH OF CEMENT STONE IN THE RANGE OF TIME FROM 28 DAYS UP TO 4,5 YEARS AFTER THE PREPARATION.....	23	Loganina V.I., Mazhitov E.B. FORMATION OF THE QUALITY OF EXTERNAL COATINGS ON POLYSILICATE SOLUTIONS	75
Maksimova I.N., Makridin N.I., Erofeev V.T., Tumanova N.N. ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CONCENTRATION AND PROCEDURES OF SUPERPLASTIFICATOR DOSING ON THE ENERGY OF ACOUSTIC EMISSION AT CEMENT STONE DESTRUCTION IN THE TIME INTERVIEW OF 18 YEARS.....	31	Loganina V.I., Mazhitov E.B. INVESTIGATION OF SOL SILICATE COATINGS PERMEABILITY	80
Vapirov Y.M., Lavrenteva K.G., Startsev O.V., Erofeev V.T. THE MECHANISM OF INTERACTION OF WATER WITH WOOD	41	Zhegera K.V., Pyshkina I.S. ESTIMATION OF EFFICIENCY OF AMORPHOUS ALUMOSILICATES APPLICATION IN DRY CONSTRUCTION MIXTURES	85
Tolstoy A.D., Lesovik V.S., Krymova A.I. SYNERGETIC PRINCIPLES OF SELF-ORGANIZATION SYSTEMS IN THE HARDENING THEORY OF MULTICOMPONENT POWDER COMPOSITIONS	49	Karpova O.V. ECOLOGICAL CERTIFICATION – A GUARANTEE OF BUILDING AND FINISHING MATERIALS SAFETY	91
		Bormotov A.N., Bormotova A.A. INTEGRATED COMPLEX OF MATHEMATICAL MODELING AND MULTI-CRITERIAL SYNTHESIS OF COMPOSITE MATERIALS.....	97

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS.....	104	Vilkova N.G., Mishina S.I., Shatina E.A. INFLUENCE OF DIESEL FUEL ON THE STABILITY OF FOAM FORMED IN SEWAGE WATERS	172
Selyaev V.P., Selyaev P.V., Alimov M.F., Garynkina E.N., Sorokin E.V. ESTIMATION OF THE RESOURCE OF THE REINFORCED CONCRETE ELEMENT SUBJECTED TO THE ACTION OF CHLORIDE CORROSION BY THE STRENGTH OF THE INCLINED SECTION	104	Eremkin A.I., Bakanova S.V., Alekseeva T.V. DEVELOPMENT OF THE PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODEL OF HYDROSTATIC PROCESSES OF INTERACTION OF TEXTILE MATERIALS WITH CONDITIONED AIR	178
Shein A.I., Zernov V.V., Zaytsev M.B. ANALYSIS OF DEFECTS IN THE ROOFS OF RESIDENTIAL AND CIVIL BUILDINGS..	116	Osipova N.N., Grishin B.M., Greysoukh G.I., Ezhov E.G. OPERATING MODES OF GAS SUPPLY SYSTEMS BASED ON CYLINDER SYSTEMS OF LIQUEFIED HYDROCARBON GAS	184
Comarov V.A., Boldyreva O.V. STUDY OF SHORT CROSSBARS CONSOLES OF MULTI-STOREY FRAMES: DESIGN SCHEME OF WORK IN INCLINED SECTIONS	125	Grishin B.M., Kochev A.N., Shein A.I., Salmin S.M. GRANULAR FILTERS WITH SORBENT PRECOAT LAYER FOR PURIFICATION OF OILY WASTE WATER.....	194
Garkin I.N., Gluhova M.V. METHODS OF STRENGTHENING FOUNDATIONS OF CIVIL BUILDINGS...	130	ARCHITECTURE	199
Guchkin I.S., Laskov N.N., Artyushin D.V. ASSESSMENT OF PHYSICAL CONDITION OF PYRAMIDAL RADIO TOWERS AFTER A LONG TIME OF USE IN EXTREME CONDITIONS OF THE VOLGA REGION .	136	Khomyakov A.I. SIGNS OF THE SITE: REGIONAL MEMORIAL-MUSEUM COMPLEXES	199
Vdovin V.M., Karpov V.N. COMPARATIVE ANALYSIS OF GLUED LAMINATED PANELS WORK WITH SOLID WOOD AND COMBINED BEARING RIBS	142	Makhaev V.B. THE EVOLUTION OF THE CITY OF TEMNIKOV	205
ENGINEERING SYSTEMS	148	Devlikamov A.F., Heruvimova I.A. FOREIGN PRACTICE OF COMPENSATORY LANDSCAPING IN URBAN AREAS DEVELOPMENT.....	214
Usachev A.P., Shuraitis A.L., Biryukov A.V., Homutov A.O. MODELING OF A SINGLE MECHANICAL GRID CLOGGING IMPURITIES DEPENDING ON CHANGE OF GAS LOSSES ON THE FILTERING CARTRIDGE PRE-FILTERMIC LOSSES IN THE FILTER CARTRIDGE COARSE.....	148	Beregovoy A.M., Beregovoy V.A. SELECTION OF THE CONCEPT OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION DESIGN OF AN ENERGY EFFICIENT BUILDING.....	223
Averkin A.G., Eremkin A.I., Kiselev S.O. INVESTIGATION OF WORK OF CONTACT EQUIPMENT WITH VIBRONS	155	ECONOMICS AND MANAGEMENT..	229
Andreev S.Yu., Yakhkind M.I., Garkina I.A. HYDRODYNAMIC REGULARITIES OF TRANSITION OF LIQUID FLOW MODE IN TUBULAR MIXING DEVICE TO AREA OF DEVELOPED TURBULENCE.....	161	Vasin L.A. APPLICATION OF VIRTUALIZATION TECHNOLOGY IN THE INFORMATION SYSTEM OF THE UNIVERSITY.....	229

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.163

*Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет*

Россия, 129337, г. Москва,
Ярославское шоссе, д. 26,
тел.: +7 (495) 781-80-07;
факс: +7 (499) 183-44-38

Шеховцова Светлана Юрьевна,
кандидат технических наук, старший
преподаватель кафедры «Строительные
материалы и материаловедение»

Королев Евгений Валерьевич,
доктор технических наук, профессор,
проректор, директор НОЦ НТ
E-mail: KorolevEV@mgsu.ru

*National Research Moskovsky State University
of Civil Engineering*

Russia, 129337, Moscow,
26, Yaroslavskoe shosse,
tel .: +7 (495) 781-80-07;
fax: +7 (499) 183-44-38

Shekhovtsova Svetlana Yuryevna,
Candidat of Sciences, Senior Lecturer
departmeht «Building materials and
materials»

Korolev Evgeny Valer'evich,
Doctor of Sciences, Professor, Vice-rector,
Director of SEC NT,
E-mail: KorolevEV@mgsu.ru

ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЮНИВАТОРОВ ДЛЯ РЕВЕРСИНГА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

С.Ю. Шеховцова, Е.В. Королев

Дан аналитический обзор научно-технической информации о защитно-восстанавливающих материалах, представленной в отечественной и зарубежной литературе. Описаны преимущества и недостатки указанных материалов. Рассмотрены методики исследования их свойств. Предложена новая декомпозиция критериев качества защитно-восстанавливающих материалов, позволяющая систематизировать проводимые исследования, а также адекватно оценивать влияние защитно-восстанавливающих материалов на эксплуатационные свойства асфальтобетона дорожных покрытий.

Ключевые слова: защитно-восстанавливающие материалы, реюниваторы, реверсинг, асфальтобетон

MODERN EXPERIENCE OF USING REJUVENATORS FOR ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS REVERSING

S.Yu. Shekhovtsova, E.V. Korolev

The paper presents an analytical review of scientific and technical information on protective-restorative materials presented in domestic and foreign literature. Advantages and disadvantages of these materials are indicated. Methods for studying their properties are considered. A new decomposition of criteria for protective-restorative materials quality is proposed, which makes it possible to systematize the conducted research, and also adequately assess the effect of protective-restorative materials on the performance properties of asphalt concrete paving.

Keywords: protective-restorative materials, rejuvenator, reversing, asphalt concrete

Введение

Автомобильные дороги являются важной частью транспортной инфраструктуры страны и в значительной мере влияют на её социально-экономическое развитие. По данным Федерального дорожного агентства – Росавтодора – в ближайшие годы расходы, запланированные на строительство автомобильных дорог, будут сокращаться, что повышает значимость разработок, обеспечивающих оптимизацию расходов на содержание и ремонт дорожной сети [1].

Асфальтобетон является наиболее распространённым материалом покрытия автомобильных дорог. В битуме под действием климатических и эксплуатационных факторов протекают окислительные процессы, приводящие к повышению его хрупкости и растрескиванию. Такие процессы приводят к образованию отдельных микротрещин, о наличии которых свидетельствуют участки дорожных покрытий с повышенным водонасыщением, часто идентифицируемые в виде характерных «мокрых» пятен после атмосферных осадков и других воздействий воды. В дальнейшем под действием комплекса различных факторов происходит формирование макротрещин, сетки трещин, шелушение поверхности покрытия и, как следствие, образование критических дефектов. Для предотвращения прогрессирующего разрушения асфальтобетонного покрытия применяют обработку различными защитно-восстанавливающими пропиточными составами.

В настоящее время широко распространены технологии защиты асфальтобетонных покрытий водоземлюльсионными пропитками [2...4]. Для данных эмульсий, которые представляют собой дисперсную систему, состоящую из двух лиофобных жидкостей (нефтяного битума и воды), характерен ряд недостатков: наличие ПАВ, сложность контроля скорости распада, длительность формирования защитной пленки на обрабатываемом покрытии. Это затрудняет своевременное открытие движения транспортных средств, а также создает недостаточную безопасность дорожного движения вследствие низкого сцепления автомобильного колеса с обработанной поверхностью. Технологическим решением, лишенным указанных недостатков, позволяющим защитить асфальтобетонные покрытия от негативных воздействий природного и техногенного характера и обеспечивающим снижение ресурсоемкости их эксплуатации, является применение безводных пропиточных композиций.

Виды пропиточных составов

Материалы, предназначенные для регулирования свойств органического вяжущего и/или защиты покрытия от воздействия эксплуатационных факторов, получили наименование защитно-восстанавливающие материалы (ЗВМ). Классификация ЗВМ в соответствии с ОДМ 218.3.073-2016 представлена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Разновидности ЗВМ

Наименование	Направленность воздействия
Омолаживающий	Изменяет свойства битума в покрытии
Защищающий	Обеспечивает защиту покрытий от внешних воздействий
Комбинированный	Сочетает свойства омолаживающего и защищающего составов

По составу ЗВМ классифицируют на материалы [5]:

- на основе эмульсий;
- на основе растворителей (разжижителей): содержащие или не содержащие минеральный материал.

Авторы данной работы на основе форсайт-анализа предлагают дополнить представленную классификацию следующими разделами:

- на основе органических масел;
- специальные составы из композиции полимеров.

Методы испытаний пропиточных составов

В соответствии с немногочисленными отечественными исследованиями в этой области использование омолаживающих и комбинированных пропиточных составов должно приводить к изменению свойств органических вяжущих, тем самым повышая эксплуатационные характеристики асфальтобетона в верхнем слое дорожного покрытия. Эффект от применения защитно-восстанавливающих материалов должен заключаться в снижении воздействия на покрытие неблагоприятных природно-климатических факторов, повышении коррозионной стойкости и устойчивости к истиранию, в улучшении низкотемпературных свойств асфальтобетона и в повышении сцепления колеса транспортного средства с покрытием автомобильной дороги [5].

Обозначенный эффект может достигаться двумя способами:

1) посредством фильтрации ЗВМ в тело асфальтобетона и, как следствие, заполнения его открытого порового пространства и микродефектов. Этот механизм обеспечивает восстановление целостности физических и/или физико-химических связей посредством частичного растворения органического вяжущего, а также «насыщения» его молекулами ЗВМ;

2) созданием «физического барьера» в виде тонкой пленки ЗВМ, влияющей как на процессы структурообразования (снижение скорости термоокислительной деструкции), так и на эксплуатационные свойства (сцепление колеса с покрытием).

Важно отметить, что описание методик, позволяющих определять глубину пропитки, в нормативных документах отсутствует. Использование защитно-восстанавливающих материалов не должно приводить к снижению эксплуатационных свойств асфальтобетона и сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Параметры качества ЗВМ различных стран

№	Наименование показателя	РФ	США	Голландия	Китай
1	Внешний вид	+	-	-	-
2	Условная вязкость по вискозиметру типа ВУБ-1 с диаметром отверстия 5 мм при 20 °С, сек	+	-	-	-
3	Содержание нелетучих веществ, %	+	-	-	-
4	Однородность	+	-	-	-
5	Плотность**, г/см ³	+	-	-	-
6	Адгезия*, балл	+	-	-	-
7	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг	+	-	-	-
8	Время высыхания**, ч	+	+	+	+
9	Содержание остатка после выпаривания, %	+	-	-	-
10	Остаток на сите № 014, %	+	-	-	-
11	Адгезия*, балл	+	-	-	-
12	Пенетрация, дмм	-	+	-	-
13	Вязкость по Брукфильду, Па·с	-	+	+	+
14	Температура размягчения, °С	-	-	+	+

П р и м е ч а н и я : * – для ЗВМ, содержащих битум; ** – для ЗВМ, содержащих минеральный материал

Показатели качества, определяющие влияние защитно-восстанавливающих материалов на обрабатываемую поверхность асфальтобетонного покрытия, представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Показатели качества асфальтобетона, обработанного ЗВМ

№	Наименование показателя	РФ	США	Голландия	Китай
1	Предел прочности при сжатии при 50 °С (до и после обработки ЗВМ), МПа	+	-	-	-
2	Водонасыщение (до и после обработки ЗВМ), %	+	-	-	-
3	Устойчивость к износу на круге истирания ЛКИ, %	+	-	-	-
4	Глубина колеи от абразивного износа шипованным колесом, мм	-	+	+	+
5	Комплексный модуль упругости, МПа	-	+	+	+
6	Глубина проникновения ЗВМ в асфальтобетонное покрытие, мм	-	+	+	+
7	Жесткость при изгибе, МПа	-		+	
8	Сопротивление асфальтобетонного покрытия выкрашиванию и потере отдельных зерен минерального материала, %	-	+	+	+
9	Прочность на разрыв при непрямом растяжении (трещиностойкость), МПа	-	-	+	+
10	Остаточная пористость (содержание воздушных пустот), %	-	-	+	+
11	Толщина пленки вяжущего на асфальтобетонном покрытии после нанесения ЗВМ, мм	-	-	+	+
12	Сцепление колеса с поверхностью асфальтобетонного покрытия	-	-	-	+
13	Фазовый гол уплотненного асфальтобетона, град	-	+	+	+
14	Устойчивость к колееобразованию, мм	-	-	+	+
15	Деформация ползучести, мм	-	-	+	+

Анализ данных табл. 2 и 3 показывает, что в РФ имеется значительное количество испытаний самого защитно-восстанавливающего материала и практически отсутствуют методики испытаний, определяющие его влияние на асфальтобетонное покрытие. Последнее не позволяет исследователю адекватно производить оценку эффективности ЗВМ. Отечественные исследования в данном направлении в основном направлены на подбор оптимального соотношения компонентов пропиточного состава. Так, Ефимовым М.В., Новиковым С.Н., Миленкиным А.В. [6] установлено, что существенное влияние на эффективность процесса нанесения пропитывающей композиции на поверхность асфальтобетона оказывает выбор органического растворителя и его количества по отношению к используемому вяжущему. В качестве разжижителей в битумных композициях применяются различные органические растворители, такие, как: этилвалерат, этилизовалерат, этил-2-метилбутират, н-пропилбутират, изопропилбутират, н-бутилпропионат, изобутилпропионат, бензол, толуол, ксилол, а также галоген-углеводородные растворители, например трихлорэтан, дихлорметан [7, 8]. Недостаток применения таких растворителей заключается в том, что сложные эфиры и ароматические углеводородные растворители обладают высокой токсичностью с достаточно выраженным нейротоксическим эффектом [9].

Булатицкий К.К., Глушко А.Н. и другие установили, что оптимальная температура кипения применяемых органических растворителей должна находиться в интервале 155–200°C, что соответствует таким растворителям, как уайт-спирит, Тиккурила, Лотоксан (Lotoxane FAST), петролейный эфир. Данные растворители относятся к категории экологически безопасных и быстросохнущих.

Глушко А.Н., Разинов А.Л., Рябенко В.С. [10] установили, что пропиточные вещества, не содержащие полимерные компоненты, обладают неудовлетворительными эксплуатационными показателями качества. Для улучшения качества битумных вяжущих в отечественной и зарубежной практике предлагается использовать полимерные добавки: термопластичные каучуки (термоэластопласты), синтетический полибутадиеновый каучук [11], резиновый термоэластопласт РТЭП [12], сополимеры, выбранные из группы бутадиен-стирольных сополимеров [13], этилен-винилацетатный сополимер (EVA) с содержанием винила в пределах 20–35 % от массы сополимера [14] и другие. Основное внимание в данных работах уделено подбору оптимального соотношения компонентов: величина пенетрации предпочтительно находилась в пределах от 20 до 75 дмм (метод ASTM D5, при 25°C) [14]. Также в качестве полимерных компонентов используют различные смолы: наиболее распространенным решением является использование каменноугольной и нефтеполимерной смол [15, 16], причем первая получила широкое распространение за рубежом.

Исследователи Беляев Н.Н., Паневин Н.И. [17] изучали влияние пропиток на устойчивость к износу асфальтобетона шипованными шинами по методике асфальтовой шаровой мельницы и резиновыми (нешипованными) шинами на круге истирания ЛКИ-3 по ГОСТ 13087-81. В ходе исследования установлен прирост устойчивости обработанных пропиткой образцов асфальтобетона к износу шипованными шинами на 21–29 % и резиновыми шинами на 26–33 %. Также на основании полученных результатов была выполнена прогнозная оценка глубины колеи, которая может образоваться в результате износа покрытия автомобильных дорог. Установлено, что использование пропиток может уменьшать колею износа в среднем в 1,5 раза.

Первые зарубежные исследования омолаживающих составов относятся к 70-м годам XX столетия [18]. Так, американскими исследователями в период 1971–1975 гг. были проведены исследования по установлению глубины проникновения некоторых омолаживающих составов в плотную поверхность асфальтобетонного покрытия. Глубину оценивали по величине пенетрации и вязкости битума, извлеченного из асфальтобетонных образцов. В другом независимом исследовании [19] показано, что «омолаживатель» значительно уменьшил комплексный модуль упругости асфальтобетонных образцов с остаточной пористостью 10–12 %. Этот результат был положен в основу рекомендаций о запрете нанесения омолаживающих средств на асфальтобетонные покрытия с остаточной пористостью ниже 7–8 %.

Представленные результаты исследований были использованы при разработке Федеральным управлением гражданской авиации США стандарта для аэродромных покрытий [20]. Согласно указанному документу реюниваторм (восстанавливающим агентом) является продукт, обладающий способностью омоложения битумного связующего и проникающий в покрытие на глубину не менее 9,5 мм. Реюниватор должен обеспечивать определенные изменения свойств битумного вяжущего, такие, как снижение вязкости и комплексного модуля сдвига.

В Нидерландах 90 % покрытий автомобильных дорог выполнены из пористого асфальтобетона с содержанием пустот не менее 20 %, что обеспечивает увеличение шумопоглощения и быстрое водоотведение во время осадков [21]. Однако очевидными недостатками такого вида асфальтобетона является высокая чувствительность к воздействию автомобильного транспорта и агрессивным эксплуатационным факторам, под действием которых происходит «raveling», то есть выкрашивание и потеря отдельных зерен минерального остова из поверхности покрытия автомобильных дорог [22]. В связи с высокой открытой пористой структурой такого асфальтобетона битумное вяжущее сильно подвержено агрессивному воздействию атмосферного кислорода и ультрафиолета, что приводит к значительной деструкции уже через три года эксплуа-

тации. Кроме того, битумное вяжущее в покрытии при 0 °С ведет себя как хрупкое вещество, что приводит к ухудшению когезии и адгезии [23]. Указанное способствовало началу реализации в 2010 году Министерством инфраструктуры и окружающей среды Нидерландов исследовательского проекта «Lifespan Extension» (расширение продолжительности жизни), целью которого было исследование возможности применения профилактического обслуживания пористого асфальтобетона с помощью опрыскивания поверхности покрытия омолаживающими средствами [2]. В рамках этого проекта проводились полевые испытания на главных автомобильных дорогах Нидерландов. Было установлено, что исследуемые продукты омоложения увеличили жесткость при изгибе образцов пористого асфальтобетона из полевых пробных участков. Однако характер разрушения не изменился, что свидетельствует об отсутствии влияния реюнивателей на данный показатель. Также в рамках проекта было установлено, что их использование увеличивает сопротивление асфальтобетонного покрытия к выкрашиванию зерен щебня [25]. Но в целом в рамках проекта не установлен положительный эффект от использования реюнивателей.

Совместные исследования ученых из Нидерландов и Китая [26] по изучению влияния реюнивателей на свойства образцов пористого асфальтобетона, приготовленных из асфальтобетонной смеси, состаренной при температуре 135 °С в течение 4 часов и при 85 °С в течение 7 дней, позволили установить, что обработка (насыщение образцов асфальтобетона реюниваторм; режим: продолжительность – 15 минут; разряжение (вакуум) – 75 кПа; температура – 20 ± 2 °С) не изменила модуль упругости и прочность на разрыв при непрямом растяжении (EN 12697-26) [27]. На основании полученных результатов авторы заключили, что эффективность «омоложения» реюнивателями не следует определять на основании изменений свойств битумных связующих, полученных из состаренных пористых асфальтобетонов с реюнивателями.

Использование рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) для изучения внутренней микроструктуры асфальтобетона позволило:

- получить трехмерную микроструктуру асфальтобетона (А. Басин (A. Bhasin) с коллегами [28]);
- определить распределение воздушных пустот в асфальтобетонных смесях [29] (исследования Е. Масад (E. Masad) и др.);
- идентифицировать изменения в распределении пор, происходящие во время уплотнения асфальтобетонных смесей [30, 31] (исследования Е. Колери (E. Coleri) и др.).

Опираясь на имеющиеся знания в этой области, авторы [32] предлагают способ оценки глубины проникновения реюнивателя в асфальтобетон. С помощью РКТ была проверена гипотеза о различии средних значений содержания воздушных пустот асфальтобетона верхнего слоя, обработанного реюниваторм и необработанного, на двух участках автомобильной дороги после 5 лет эксплуатации и на опытном участке. По результатам сканирования и последующих расчетов авторы делают вывод, что средние значения содержания воздушных пустот не показывают статистически значимой разницы между обработанными и необработанными образцами асфальтобетона. А при изучении толщины пленки вяжущего в образцах асфальтобетона после обработки реюнивателями и распределения его по объему было установлено увеличение толщины пленки вяжущего на поверхности образцов. Для идентификации объемного распределения реюнивателей в вяжущем рассматривали диапазон средних плотностей («серое» разрешение РКТ). Установлено, что один из исследуемых реюнивателей был распределен только в верхнем слое покрытия (10 мм), а второй – по всему объему (до 20 мм). Таким образом, авторы [32] делают вывод о возможности определения распределения реюнивателей по объему образцов пористого асфальтобетона с применением метода рентгеновской томографии.

В другом исследовании [33] эффективная глубина проникновения реюнивателей оценивается на экстрагированном вяжущем из обработанных асфальтобетонных образцов. Предлагается оценка глубины проникновения по сложным изменениям комплексного модуля упругости вяжущего, отобранного из разных высотных областей

асфальтобетонного покрытия. Установлено, что рассчитанный по ИК-Фурье-спектрам карбонильный индекс вяжущего отражает изменение его комплексного модуля упругости, который может быть использован для определения эффективной глубины проникания реюнивателей. Установлено, что использование реюнивателей может повысить пластичность вяжущего в асфальтобетонном покрытии на определённой глубине, способствуя снижению пластического растрескивания асфальтобетонов. Эффективной является глубина проникания от 10 до 20 мм, что согласуется с данными [32].

Чиу Ц. (Chiu C.) и Ли М. (Lee M.) [34] исследовали несколько различных видов реюнивателей: традиционные пропитки, пропитки на основе восстановленного асфальтового вяжущего и пропитки-эмульсии. Все исследуемые реюниватели показали увеличение пластичности «старого» вяжущего в верхнем слое асфальтобетонного покрытия на глубине 1 см, а эмульсия на основе смолы и реюниватель из восстановленного асфальтового вяжущего способны проникать на глубину до 2 см. Рассматриваемые пропитки снижают вязкость вяжущего при температуре 60 °С на 45...90 %. Скорость высыхания асфальтового покрытия, обработанного пропитками, также зависит от их состава и варьируется диапазоне от 2 до 7 часов. Однако авторами [34] также установлено, что использование исследуемых реюнивателей приводит к снижению сцепления автомобильного колеса с поверхностью на 20 %, что является неприемлемым для участков автомобильных дорог с высокой проектной скоростью движения транспортных средств.

Ли Дж. (Lee J.) и Ким Ю.Р. (Kim Y.R.) [35] установили, что реюниватели существенно влияют на микро- и макротекстуру поверхности автомобильных дорог и способны в зависимости от типа модифицированного связующего, используемого в составе, снижать сцепление колеса с дорожным покрытием до 24 %. Дополнительным фактором, влияющим на уменьшение пустотности асфальтобетона после обработки реюнивателем, является скорость его подачи на поверхность покрытия. Однако для обоснования зависимости описанного эффекта требуются дополнительные исследования, ввиду наличия взаимосвязи с функциональностью обрабатываемого покрытия.

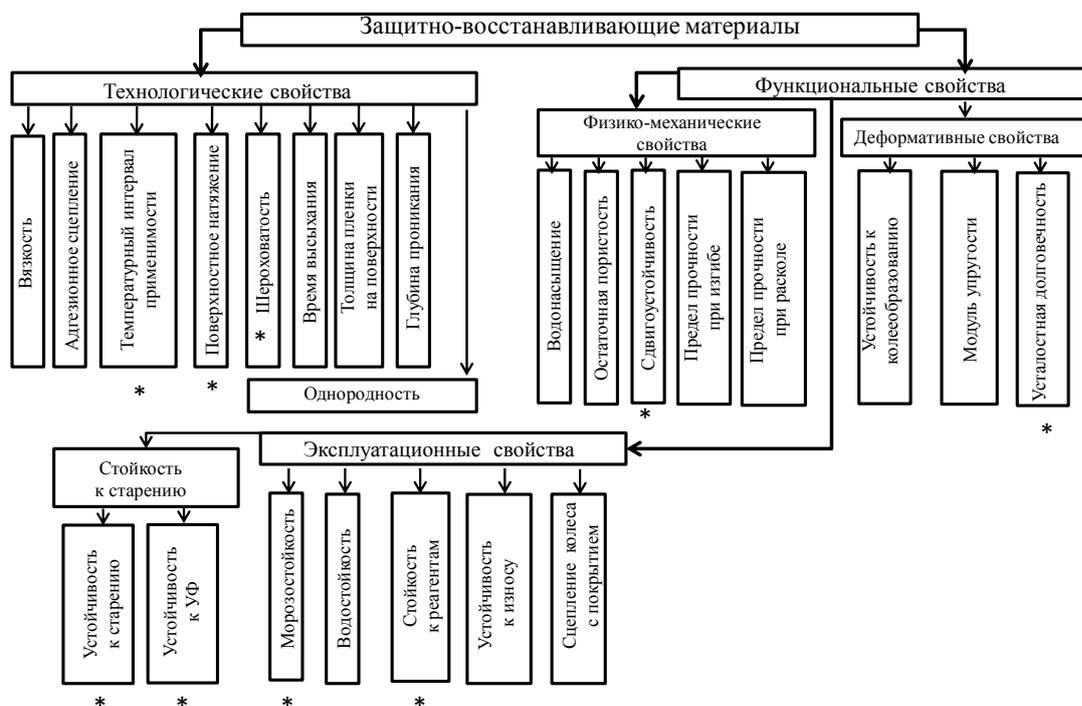
Другое исследование [36] было направлено на рассмотрение возможности использования отработанного растительного масла в качестве омолаживающего агента для вяжущего. Так, при изучении пенетрации восстановленного вяжущего (состаренный битум марки 50/60 с 1 % отработанного растительного масла) и исходного битума была установлена существенная разница. Однако при изучении температуры размягчения и вязкости по Брукфильду установлено отсутствие статистически значимых различий по данным показателям в исследуемых вяжущих. Таким образом, авторы [36] заключили, что использование 1 % отработанного растительного масла может восстанавливать состаренный битум до исходных первоначальных значений, что является экономически выгодным для предприятий, осуществляющих эксплуатацию асфальтобетонных покрытий.

В работе Дж. Ли (Lee J.) и др. [37] получены неоднозначные результаты, в соответствии с которыми применение реюнивателей уменьшает комплексный динамический модуль упругости и фазовый угол уплотненного асфальтобетона, увеличивает глубину колеи и деформацию ползучести, снижает сопротивление шин автомобилей скольжению по поверхности асфальтобетонного покрытия. Однако также установлено, что использование реюнивателей может эффективно сопротивляться выкрашиванию и «вымыванию» отдельных зерен каменного материала из покрытия автомобильной дороги. Также авторы рекомендуют перед опытным внедрением реюнивателей проводить испытания по определению их сопротивления к образованию трещин в асфальтобетоне.

Заключение

Обобщая изученную информацию, можно заключить, что использование защитно-восстанавливающих пропиточных составов (реюнивателей) приводит к реверсингу свойств органических вяжущих в основном за счет снижения их вязкости, что улучшает трещиностойкость асфальтобетона в верхнем слое покрытия автомобильных дорог. Они широко представлены на строительном рынке, однако в научно-техни-

ческой литературе информация о механизме их действия неполна и содержит противоречия, а информация о методах исследования является разрозненной и несистематизированной. Отдельные факты эффективного применения реюниваторов не позволяют обобщить и сформулировать требования к подобным материалам, при применении которых можно избежать негативных последствий в виде снижения сцепления автомобильного колеса с покрытием, а также стойкости к образованию колеи и деформаций ползучести. Для накопления статистически значимых результатов в данном направлении авторами предлагается проводить комплексные исследования защитно-восстанавливающих материалов в соответствии с показателями качества, представленными на рисунке.



Декомпозиция системы качества защитно-восстанавливающих материалов

(* – обозначены показатели качества, предлагаемые авторами для оценки качества ЗВМ)

Список литературы

1. Продлеваем молодость дорог // Автомобильные дороги. – 2015. – №3(1000). – С. 34–35.
2. Немчинов, М.В. Устройство шероховатых слоев износа / М.В. Немчинов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2001. – №2. – С. 13–14.
3. Васильев, А.П. Поверхностная обработка с синхронным распределением материалов / А.П. Васильев, П. Шамбар. – М.: Трансдорнаука, 1999. – 80 с.
4. Муса, С.С. Перспективы применения дорожных битумных эмульсий / С.С. Муса, В.В. Рудакова // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2015. – №3(5). – С. 17–26.
5. ОДМ 218.3.073-2016. Рекомендации по применению пропиточных составов для повышения долговечности асфальтобетонных покрытий. – М.: Росавтодор, 2016. – 57 с.
6. Патент РФ 2538251. Ефимов М.В., Новиков С.Н., Миленский А. В. Смесь для защиты дорожных покрытий и способ ее получения. Заявл. 23.04.2013. Оpubл. 10.01.2015.
7. Патент РФ 2314325. Дейгу Ф.Ж. (FR). Битумная композиция, способ получения и ее применение. Заявл. 10.10.2003. Оpubл. 10.10.2005.
8. Патент РФ 2516605. Санду Р. А., Глушко А. Н., Булатицкий К. К. [и др.]. Способ обработки асфальтобетонных дорожных покрытий. Заявл. 11.12.2012. Оpubл. 20.05.2014.

9. Исследование острой токсичности сложных эфиров на основе 2D-симплексного представления молекулярной структуры / О.В. Тиньков [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2013. – №6 (1). – С. 65–75.
10. Патент РФ 2610510. Глушко А.Н., Разинов А.Л., Рябенко В.С. Способ получения пропиточной композиции на основе модифицированного битума, применяемой для поверхностной обработки асфальтобетонных покрытий. Заявл. 13.11.2015. Оpubл. 13.11.2016.
11. Патент РФ 2148063. Илиополов С.К., Безродный О.К., Углова Е.В., Мардиросова И.В., Меркулова С.А., Кучеров В.А., Шитиков С.В. Вяжущее для дорожного строительства. Заявл. 1998.06.30. Оpubл. 27.04.2000.
12. Патент РФ 2186044. Илиополов С.К., Болдырев В.И., Мардиросова И.В., Углова Е.В., Котов В.Л., Задорожний Д.В. Вяжущее для дорожного строительства. Заявл. 2000.11.17. Оpubл. 27.07.2002.
13. Патент РФ 2226203. Битумная композиция. Глуховской В.С., Самоцветов А.Р., Степанов В.Ф., Ситникова В.В., Брехов П.П., Нечиненный В.А., Дубина С.И., Якимова Л.А., Яковлева Т.А. ЗАО «Техпрогресс». Заявл. 24.12.2001. Оpubл. 27.03.2004.
14. Patent CN101300306B. Asphalt binder for porous pavements. Erik Jan Scholten. Declared 05. 11.2008. Published on 31. 08.2011.
15. Применение модифицированной коксохимической смолы для обработки асфальтобетонных дорожных покрытий / В.В. Меркулов [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 10 (2). – С. 267–270.
16. Bergendahl, J. Environmental Effects of Coal Tar-Based Pavement Rejuvenators / J. Bergendahl. – 2017. – 76 p.
17. Беляев, Н.Н. Новая роль пропиток / Н.Н. Беляев, Н.И. Паневин // Автомобильные дороги. – 2016. – №11. – С. 82–86.
18. Brown, E.R. Evaluation of rejuvenators for bituminous pavements. AFCEC-TR-76-3. Air Force Civil Engineering Centre. Tyndall Air Force Base / E.R. Brown, R.R. Johnson. – Florida, 1976.
19. Estakhri, C.K. Effectiveness of fog seals and rejuvenators for bituminous pavement surfaces. Report TX-91/1156-1F / C.K. Estakhri, H. Agarwal // Texas Transportation Institute. Texas A&M University. – Texas, 1991.
20. Federal Aviation Administration. Standards for specifying construction of airports. AC 150/5370-10G, Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation. – 2014. – P. 662.
21. Voskuilen, J. The current state of practice in road engineering: winter damage. Presentation / J. Voskuilen. – Netherlands: Department of Civil Engineering Service, the Ministry of Infrastructure and the Environment, 2011.
22. Swart, J.H. Experience with porous asphalt in the Netherlands. Report WDW-97-058 / J.H. Swart. – Netherlands: Department of Civil Engineering Service, the Ministry of Infrastructure and the Environment, 1997.
23. Hagos, E.T. The effect of aging on binder properties of porous asphalt concrete (Ph.D. dissertation) / E.T. Hagos. – Delft: Delft University of Technology, 2008.
24. Voskuilen J. The P. Research on lifespan extension maintenance of porous asphalt wearing courses. Technical Paper, the Technology Platform for Transport, Infrastructure and Public Space (CROW), the Netherlands. 2012.
25. Van de Ven M.F.C., Qiu J., Zhang Y., Increasing the functional service life of porous surfacing: Development of test methods to study the effect of rejuvenating binders. Proceeding of 15th International Flexible Pavements Conference of AAPA, Australian Asphalt Pavement Association, Queensland, Australia. 2013.
26. Zhang, Yu. Assessment of effectiveness of rejuvenator on artificially aged porous asphalt concrete / Yu. Zhang, A.A.A. Molenaar, Wu. Shaopeng // Construction and Building Materials. – 2016. – P. 286–292.
27. EN 12697–26. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 26: Stiffness. Standard Committee 353058 “Road Materials”, European Committee for Standardization. – 2004. – P. 37.

28. Bhasin, A. Three dimensional distribution of the mastic in asphalt composites / A. Bhasin, A. Izadi, S. Bedgaker, // *Constr. Build. Mater.* – 2011. – V.25. – P. 4079–4087.
29. Characterization of air void distribution in asphalt mixes using X-ray computed tomography / E. Masad [etc.]// *J. Mater. Civ. Eng.* – 2002. – Vol. 14 (2). – P. 122–129.
30. A micromechanical approach to investigate asphalt concrete rutting mechanisms / E. Coleri, J.T. Harvey, K. Yang, J.M. Boone // *Constr. Build. Mater.* – 2012. – Vol. 30. – P. 36–49.
31. Development of a micromechanical finite element model from computed tomography images for shear modulus simulation of asphalt mixtures / E. Coleri, J.T. Harvey, K. Yang, J.M. Boone // *Constr. Build. Mater.* – 2012. – Vol. 30. – P. 783–793.
32. Using high-resolution industrial CT scan to detect the distribution of rejuvenation products in porous asphalt concrete / Y. Zhang, W. Verwaal, A. A. A. Molenaar, S.P. Wu // *Construction and Building Materials.* – 2015. – Vol. 100. – P. 1–10.
33. Effectiveness of Rejuvenator Seal Materials on Performance of Asphalt Pavement / J. Lin [etc.] // *Construction and Building Materials.* – 2014. – Vol. 55. – P. 63–68.
34. Chiu, C. Effectiveness of Seal Rejuvenators for Bituminous Pavement Surfaces / C. Chiu, M. Lee // *Journal of Testing and Evaluation.* – 2006. – Vol. 34. Issue 5. – P. 390–394.
35. Lee, J. Performance Evaluation of Asphalt Surface Treatments Using MMLS3 / J. Lee, Y.R. Kim // *Airfield and Highway Pavements.* – 2006. – P. 86–97.
36. Investigation on Physical Properties of Waste Cooking Oil – Rejuvenated Bitumen Binder / H. Asli, E. Ahmadinia, M. Zargar, M. R. Karim // *Construction and Building Materials.* – 2012. – Vol. 37. – P. 398–405.
37. Laboratory Investigation of Rejuvenator Seal Materials on Performances of Asphalt Mixtures / J. Lin, P. Gue, L. Wan, S. Wu // *Construction and Building Materials.* – 2012. – Vol. 37. – P. 41–45.

References

1. Extend youthfulness of roads // *Highways.* – 2015. – №3 (1000). – P. 34–35.
2. Nemchinov, M.V. Arrangement of rough layers of wear / M.V. Nemchinov // *Science and technology in the road industry.* – 2001. – № 2. – P. 13–14.
3. Vasiliev, A.P. Surface treatment with synchronous distribution of materials / A.P. Vasiliev, P. Shambar. – M.: Transdernauka, 1999. – 80 p.
4. Musa, S.S. Prospects for the use of road bitumen emulsions / S.S. Musa, V.V. Rudakova // *Car. Road. Infrastructure.* – 2015. – №3 (5). – P. 17–26.
5. ODM 218.3.073-2016. Recommendations for the use of impregnating compounds to improve the durability of asphalt concrete coatings. – M.: Rosavtodor, 2016. – 57 p.
6. The patent of the Russian Federation 2538251. Efimov M.V., Novikov S.N., Milenky A.V. Mixture for protection of road coverings and a way of its reception. Declared. 04/23/2013. Opubl. 01/10/2015.
7. The patent of the Russian Federation 2314325. Deigu F.Zh. (FR). Bituminous composition, method of preparation and its application. Declared. 10.10.2003. Opubl. 10.10.2005.
8. The patent of the Russian Federation 2516605. Sandu R.A., Glushko A.N., Bulatitsky K.K. [etc.]. Method for processing asphalt concrete pavements. Declared. 11/12/2012. Opubl. 05/20/2014.
9. A study of the acute toxicity of esters based on the 2D-simplex representation of the molecular structure / O.V. Tinkov [etc.] // *Journal of Siberian Federal University. Chemistry.* – 2013. – № 6. (1) – P. 65–75.
10. Patent of the Russian Federation 2610510. Glushko A.N., Razinov A.L., Ryabenko V.S. Method of producing impregnating composition based on modified bitumen used for surface treatment of asphalt-concrete coatings. Declared. 11/13/2015. Opubl. 11/13/2016.
11. Patent of the Russian Federation No. 2148063. Iliopolov S.K., Bezrodny O.K., Uglova E.V., Mardirosova I.V., Merkulova S.A., Kucherov V.A., Shitikov S.V. Binder for road construction. Declared. 1998.06.30. Opubl. 27.04.2000.

12. Patent of the Russian Federation No. 2186044. Iliopolov S.K., Boldyrev V.I., Mardirosova I.V., Uglova E.V., Kotov V.L., Zadorozhny D.V. Binder for road construction. Declared. 2000.11.17. Opubl. 27.07.2002.
13. Patent of the Russian Federation 2226203. Bituminous composition. Glukhovskiy V.S., Samozvetov A.R., Stepanov V.F., Sitnikova V.V., Brekhov P.P., Nechinenny V.A., Dubina S.I., Yakimova LA, Yakovleva T .A. CJSC TechProgress. Declared. 24.12.2001. Opubl. 27.03.2004.
14. Patent CN101300306B. Asphalt binder for porous pavements. Erik Jan Scholten. Declared 05. 11.2008. Published on 31. 08.2011.
15. Application of the modified coke-chemical resin for the treatment of asphalt concrete pavements / V.V. Merkulov [etc.]// Modern high technology. – 2016. – No. 10 (2). – P. 267–270.
16. Bergendahl, J. Environmental Effects of Coal Tar-Based Pavement Rejuvenators / J. Bergendahl. – 2017. – 76 p.
17. Belyaev, N.N. A new role of impregnation / N.N. Belyaev, N.I. Panevin // Car roads. – 2016. – №11. – P. 82-86.
18. Brown, E.R. Evaluation of rejuvenators for bituminous pavements. AFCEC-TR-76-3. Air Force Civil Engineering Centre. Tyndall Air Force Base / E.R. Brown, R.R. Johnson. – Florida, 1976.
19. Estakhri, C.K. Effectiveness of fog seals and rejuvenators for bituminous pavement surfaces. Report TX-91/1156-1F / C.K. Estakhri, H. Agarwal // Texas Transportation Institute. Texas A&M University. – Texas, 1991.
20. Federal Aviation Administration. Standards for specifying construction of airports. AC 150/5370-10G, Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation. – 2014. – P. 662.
21. Voskuilen, J. The current state of practice in road engineering: winter damage. Presentation / J. Voskuilen. – Netherlands: Department of Civil Engineering Service, the Ministry of Infrastructure and the Environment, 2011.
22. Swart, J.H. Experience with porous asphalt in the Netherlands. Report WDDW-97-058 / J.H. Swart. – Netherlands: Department of Civil Engineering Service, the Ministry of Infrastructure and the Environment, 1997.
23. Hagos, E.T. The effect of aging on binder properties of porous asphalt concrete (Ph.D. dissertation) / E.T. Hagos. – Delft: Delft University of Technology, 2008.
24. Voskuilen J. The P. Research on lifespan extension maintenance of porous asphalt wearing courses. Technical Paper, the Technology Platform for Transport, Infrastructure and Public Space (CROW), the Netherlands. 2012.
25. Van de Ven M.F.C., Qiu J., Zhang Y., Increasing the functional service life of porous surfacing: Development of test methods to study the effect of rejuvenating binders. Proceeding of 15th International Flexible Pavements Conference of AAPA, Australian Asphalt Pavement Association, Queensland, Australia. 2013.
26. Zhang, Yu. Assessment of effectiveness of rejuvenator on artificially aged porous asphalt concrete / Yu. Zhang, A.A.A. Molenaar, Wu. Shaopeng // Construction and Building Materials. – 2016. – P. 286–292.
27. EN 12697–26. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 26: Stiffness. Standard Committee 353058 “Road Materials”, European Committee for Standardization. – 2004. – P. 37.
28. Bhasin, A. Three dimensional distribution of the mastic in asphalt composites / A. Bhasin, A. Izadi, S. Bedgaker, // Constr. Build. Mater. – 2011. – V.25. – P. 4079–4087.
29. Characterization of air void distribution in asphalt mixes using X-ray computed tomography / E. Masad [etc.]// J. Mater. Civ. Eng. – 2002. – Vol. 14 (2). – P. 122–129.
30. A micromechanical approach to investigate asphalt concrete rutting mechanisms / E. Coleri, J.T. Harvey, K. Yang, J.M. Boone // Constr. Build. Mater. – 2012. – Vol. 30. – P. 36–49.
31. Development of a micromechanical finite element model from computed tomography images for shear modulus simulation of asphalt mixtures / E. Coleri, J.T. Harvey, K. Yang, J.M. Boone // Constr. Build. Mater. – 2012. – Vol. 30. – P. 783–793.

32. Using high-resolution industrial CT scan to detect the distribution of rejuvenation products in porous asphalt concrete / Y. Zhang, W. Verwaal, A. A. A. Molenaar, S.P. Wu // *Construction and Building Materials*. – 2015. – Vol. 100. – P. 1–10.
33. Effectiveness of Rejuvenator Seal Materials on Performance of Asphalt Pavement / J. Lin [etc.] // *Construction and Building Materials*. – 2014. – Vol. 55. – P. 63–68.
34. Chiu, C. Effectiveness of Seal Rejuvenators for Bituminous Pavement Surfaces / C. Chiu, M. Lee // *Journal of Testing and Evaluation*. – 2006. – Vol. 34. Issue 5. – P. 390–394.
35. Lee, J. Performance Evaluation of Asphalt Surface Treatments Using MMLS3 / J. Lee, Y.R. Kim // *Airfield and Highway Pavements*. – 2006. – P. 86–97.
36. Investigation on Physical Properties of Waste Cooking Oil – Rejuvenated Bitumen Binder / H. Asli, E. Ahmadinia, M. Zargar, M. R. Karim // *Construction and Building Materials*. – 2012. – Vol. 37. – P. 398–405.
37. Laboratory Investigation of Rejuvenator Seal Materials on Performances of Asphalt Mixtures / J. Lin, P. Gue, L. Wan, S. Wu // *Construction and Building Materials*. – 2012. – Vol. 37. – P. 41–45.

УДК 691.342:620.196

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

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Россия, 603950, г. Нижний Новгород,
пр. Гагарина, 23,
факс (831)462-30-85

Смирнов Василий Филиппович,
доктор биологических наук, профессор
кафедры «Биохимия и биотехнологии»

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

Penza State University of Architecture and Construction

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

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

Nizhegorodsky State University named after N.I. Lobachevsky
Russia, 603950, Nizhny Novgorod, 23
Gagarin avenue,
fax (831)462-30-85

Smirnov Vasily Filippovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Biochemistry and
Biotechnologies»

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

ОБРАСТАЕМОСТЬ МИЦЕЛИАЛЬНЫМИ ГРИБАМИ ОБРАЗЦОВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

М.А. Гаврилов, В.Ф. Смирнов, В.Т. Ерофеев

Определены виды культур плесневых грибов, колонии которых преимущественно развиваются в тех или иных условиях экспонирования. Очерчен круг воздействующих на материал плесневых грибов. С учетом выделяемых ими продуктов метаболизма подобраны модельные химические среды с целью определения скорости протекания микробиологической коррозии.

Ключевые слова: эпоксидный композит, биологическая коррозия, грибы-микромикеты, обрастаемость, промышленные отходы

MISCELIAL FUNGI GROWTH ON THE SAMPLES OF MODIFIED EPOXY COMPOSITES IN NATURAL CONDITIONS

M.A. Gavrillov, V.F. Smirnov, V.T. Erofeev

The types of mold fungi which advantageously grow in certain exposure conditions are defined. It The range of mold fungi influencing the material is stated. Jabing into account their ercreted metabolic products model chemical mediums were selected to determine the speed of microbiological corrosion.

Keywords: epoxy composite, biological corrosion, fungal micromycetes, fungal growth, industrial waste

Композиты на основе эпоксидных смол широко применяются в гидротехническом строительстве [1, 2, 5]. Однако очевидно, что условия эксплуатации в пресной и морской воде значительно различаются с увеличением агрессивности в сторону последней. Кроме этого, в условиях морского климата агрессивные компоненты также содержатся в воздухе и оказывают влияние даже на эксплуатацию конструкций, не подверженных непосредственному воздействию морской воды [3, 4, 6].

Помимо химического взаимодействия агрессивных агентов морской воды и прибрежного климата с компонентами эксплуатируемых материалов, коррозионные процессы могут быть инициированы микробиологическими факторами. Одним из таких факторов является развитие на поверхности конструкций колоний плесневых грибов, видовой состав которых в значительной степени зависит от климатического района. Таким образом, информация о разновидностях микромицетов, споры которых присутствуют в данных климатических условиях и способны к прорастанию на конкретных материалах, представляет практический интерес.

Зона экспозиции образцов располагалась на Черноморском побережье в г. Генленджике. Методика испытания моделировала различные условия эксплуатации и включала выдерживание в морской воде, на воздухе на открытой площадке и под навесом. Продолжительность экспозиции образцов составляла 12 месяцев. Составы, принятые для испытаний, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Составы для испытаний

№ п/п	Компоненты	Содержание в составах, мас. ч.					
		1	2	3	4	5	6
1	Эпоксидная смола	100	100	100	100	100	100
2	Полиэтиленполиамин (ПЭПА)	10	10	10	10	10	10
3	ТДОСП (молотый шифер)	–	–	100	–	–	–
4	ВОХП (волокнистые отходы хим. производства)	–	–	–	30	–	60
5	Кварцевый песок	–	100	–	–	60	–

Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Видовой состав микроорганизмов, выделенных с поверхности образцов эпоксидных композитов

№ состава	Видовой состав микроорганизмов в зависимости от условий эксплуатации		
	на открытой площадке	под навесом	после старения в морской воде
1	2	3	4
1	Fusarium moniliforme, Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Chaetomium globosum, Fusarium avenaceum, Paecilomyces variotii, Penicillium nigricans, Penicillium oxaliceum, Penicillium chrysogenum	Fusarium moniliforme, Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Chaetomium globosum	Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Paecilomyces variotii, Penicillium nigricans, Penicillium chrysogenum, Penicillium godlewskii, Penicillium canescens
2	Alternaria brassicae, Fusarium moniliforme, Chaetomium dolichotrichum, Chaetomium globosum, Fusarium avenaceum, Paecilomyces variotii, Botrysporium piiluliferum, Aspergillus ustus, Penicillium cyclopium	Fusarium moniliforme, Chaetomium dolichotrichum, Chaetomium globosum, Fusarium avenaceum, Paecilomyces variotii, Penicillium nigricans, Botrysporium piiluliferum, Cladosporium elatum, Cladosporium herbarum, Alternaria pluriseptaia, Mucor corticola	Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Cladosporium elatum, Aspergillus ustus, Alternaria solani

1	2	3	4
3	Fusarium moniliforme, Chaetomium dolichotrichum, Chaetomium globosum, Fusarium avenacenum, Penicillium nigricans, Cladosporium elatum 4-k, Stachybotrys chertarum, Penicillium corylophilum, Penicillium godlewskii	Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Paecilomyces variotii, Penicillium nigricans, Aspergillus ustus, Penicillium corylophilum, Aspergillus oryzae, Stachybotrys chertarum, Rhizopus cohnii	Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Penicillium nigricans, Botrysporium piiluliferum, Alternaria solani, Stachybotrys chertarum
4	Fusarium moniliforme, Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Penicillium nigricans, Cladosporium elatum, Aspergillus ustus	Fusarium moniliforme, Chaetomium dolichotrichum, Fusarium avenacenum, Alternaria pluriseptaia, Alternaria alternate, Stachybotrys chertarum, Rhizopus cohnii	Fusarium moniliforme, Penicillium nigricans-1 k, Penicillium corylophilum, Penicillium chrysogenum-3 k
5	Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Chaetomium globosum, Fusarium avenacenum, Penicillium nigricans, Cladosporium elatum, Stachybotrys chertarum, Penicillium urticae	Fusarium moniliforme, Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Chaetomium globosum, Fusarium avenacenum, Paecilomyces variotii, Penicillium nigricans, Botrysporium piiluliferum, Alternaria pluriseptaia, Penicillium chrysogenum	Chaetomium dolichotrichum, Penicillium nigricans-3 k, Penicillium corylophilum, Penicillium oxaliceum, Penicillium chrysogenum-1 k, Penicillium urticae
6	Chaetomium dolichotrichum, Chaetomium globosum, Fusarium avenacenum, Penicillium nigricans, Cladosporium elatum, Aspergillus ustus, Alternaria solani, Stachybotrys chertarum, Penicillium chrysogenum	Fusarium moniliforme, Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Chaetomium globosum, Fusarium avenacenum, Paecilomyces variotii, Penicillium nigricans, Botrysporium piiluliferum, Cladosporium elatum, Aspergillus oryzae, Stachybotrys chertarum	Alternaria brassicae, Chaetomium dolichotrichum, Paecilomyces variotii, Botrysporium piiluliferum, Cladosporium elatum, Penicillium oxaliceum, Penicillium urticae

После экспозиции образцы на 1 неделю помещались в камеру тепла и влаги при температуре +29 °С и влажности более 90 % для инициации роста микромицетов, заселивших поверхность данных образцов. Затем методом отпечатков с образцов проводился высеv микофлоры в чашки Петри на стандартную агаризованную среду Чапека – Докса, которые снова помещались в камеру тепла и влаги на 10 дней для проращивания заселившихся колоний до стадии морфологической идентификации культуры.

Анализ видового состава выделенных с поверхности культур позволил сделать следующие выводы.

После выдерживания в морской воде. Состав № 1 (эталонный) характеризуется довольно широким спектром заселенных грибов. Идентифицированы виды *Alternaria brassicae* и *Alternaria solani* семейства *Pleosporaceae*; вид *Chaetomium dolichotrichum* семейства *Chaetomiaceae*; вид *Cladosporium elatum* семейства *Cladosporiaceae*; вид *Aspergillus ustus* семейства *Trichocomaceae*;

В составах с наполнителем из кварцевого песка (№ 2 и 5) отмечено отсутствие семейства *Cladosporiaceae*; значительное изменение видового состава грибов семейства *Trichocomaceae* (виды *Penicillium nigricans*, *Penicillium chrysogenum*). Уменьшение содержания кварцевого наполнителя приводит к появлению видов *Penicillium corylophilum*, *Penicillium oxalicum* и *Penicillium urticae* того же семейства; при большем

же его содержании обнаружены виды *Paecilomyces variotii*, *Penicillium godlewskii* и *Penicillium canescens*.

Составы, наполненные ВОХП, аналогично эталонным оказались заражены грибами семейства *Pleosporaceae* вида *Alternaria brassicae*, при этом в составе с меньшим содержанием картона не обнаружено семейство *Chaetomiaceae*. При концентрации картона 60 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы семейство *Chaetomiaceae* представлено видом *Chaetomium dolichotrichum*, как и в составе № 1. Разнообразно представлено семейство *Trichocomaceae*: видами *Penicillium nigricans*, *Penicillium corylophilum*, *Penicillium chrysogenum* в составе № 4 и видами *Paecilomyces variotii*, *Penicillium oxalicum* и *Penicillium urticae* в составе № 6. Также в составе с большим содержанием картона обнаружены грибы неопределенного семейства *Botryosporium piluliferum*.

На образцах состава № 3, наполненных ТДОСП, идентифицированы грибы семейств *Pleosporaceae* и *Chaetomiaceae*, видовой состав аналогичен выявленному на эталонном. Семейство *Trichocomaceae* обнаружено в единственном виде *Penicillium nigricans*. Также, аналогично составу № 6, найдены плесневые грибы неопределенного семейства *Botryosporium piluliferum*. Кроме этого, выявлено нетривиальное для данного метода испытаний заселение поверхности образцов видом *Stachybotrys chartarum* семейства *Stachybotryaceae*.

После выдерживания на открытой площадке. На поверхности образцов состава № 1 без наполнителя идентифицированы плесневые грибы семейств *Pleosporaceae* (вид *Alternaria brassicae*), *Chaetomiaceae* (вид *Chaetomium dolichotrichum*), *Trichocomaceae* (виды *Paecilomyces variotii*, *Aspergillus ustus*); неопределенного семейства *Botryosporium piluliferum*. Кроме этого, выявлены не встречавшиеся после воздействия морской воды виды *Chaetomium globosum* семейства *Chaetomiaceae*, *Penicillium cyclopium* семейства *Trichocomaceae* и семейство *Nectriaceae* (виды *Fusarium moniliforme* и *Fusarium avenaceum*).

На образцах составов, наполненных кварцевым песком (№ 2 и № 5), аналогично эталонному № 1 обнаружены *Alternaria brassicae*, *Chaetomium dolichotrichum*, *Chaetomium globosum*, *Fusarium avenaceum*. По остальному обнаруженному видовому составу микромицетов, кроме имеющегося при обеих степенях наполнения *Penicillium nigricans*, составы значительно различаются в зависимости от концентрации кварцевого песка. При содержании наполнителя в количестве 60 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы выявлены *Penicillium urticae*, *Stachybotrys chartarum*, *Cladosporium elatum*, при соотношении песка к смоле 1:1 – *Penicillium oxalicum*, *Penicillium chrysogenum*, *Fusarium moniliforme*.

Для составов № 4 и № 6, наполненных ВОХП, характерно наличие грибов вида *Cladosporium elatum* семейства *Cladosporiaceae*, причем состав со степенью наполнения 60 мас. ч. на 100 мас. ч. смолы дополнительно заражен видом *Cladosporium herbarum* того же семейства. Плесневые грибы семейства *Nectriaceae* представлены видом *Fusarium moniliforme* для состава № 4 и *Fusarium avenaceum* для состава № 6. Обнаружен вид *Chaetomium dolichotrichum* семейства *Chaetomiaceae* на поверхности образцов с картоном обоих составов, кроме этого грибы этого же семейства вида *Chaetomium globosum* имеются на образцах состава № 6. Грибы семейства *Pleosporaceae* – вид *Alternaria brassicae* на образцах состава № 4 и *Alternaria solani* – на образцах состава № 6. Грибы семейства *Trichocomaceae* – виды *Penicillium nigricans* и *Aspergillus ustus* для состава № 4, а для состава № 6 – те же и *Penicillium chrysogenum*. Также на образцах состава № 6 найден плесневый гриб *Stachybotrys chartarum*.

Виды плесневых грибов, выделенные с поверхности образцов состава № 3, соответствуют эталонному в части культур *Alternaria brassicae*, *Chaetomium dolichotrichum*, *Chaetomium globosum*, *Fusarium moniliforme* и *Fusarium avenaceum*. Кроме этого, присутствуют разнообразные виды семейства *Trichocomaceae* – *Penicillium nigricans*, *Penicillium corylophilum*, *Penicillium godlewskii*, причем два последних вида встретились только на этих образцах в рамках данного метода испытаний. Также отмечено наличие *Cladosporium elatum* и *Stachybotrys chartarum*.

После выдерживания под навесом. При таком виде испытаний, в отличие от условий открытой площадки, на образцы не воздействуют солнечный свет и атмосферные осадки. Исследование образцов состава № 1 позволило выявить на его поверхности следующие виды: *Fusarium moniliforme* и *Fusarium avenaceum* семейства *Nectriaceae*; *Chaetomium dolichotrichum* и *Chaetomium globosum* семейства *Chaetomiaceae*; *Paecilomyces variotii* и *Penicillium nigricans* семейства *Trichocomaceae*; *Cladosporium elatum* и *Cladosporium herbarum* семейства *Cladosporiaceae*; неопределенное семейство *Botryosporium piluliferum*. Из новых культур относительно двух предыдущих методов экспонирования выделены: вид *Alternaria pluriseptata* семейства *Pleosporaceae* и *Mucor corticola* семейства *Mucoraceae*.

Состав № 2, максимально наполненный кварцевым песком, отличается сравнительно малым спектром выделенных культур грибов. Идентифицированы виды *Fusarium moniliforme*, *Alternaria brassicae*, *Chaetomium dolichotrichum* и *Chaetomium globosum*. В составе № 5 с меньшим содержанием кварцевого песка, помимо указанных видов, дополнительно обнаружены: *Paecilomyces variotii*, *Penicillium nigricans*, неопределенное семейство *Botryosporium piluliferum* (найденные и в эталонном составе); *Penicillium chrysogenum* и *Alternaria alternata*. Причем последний вид идентифицирован единственный раз среди всех методов испытаний и составов.

На поверхности составов № 4 и № 6 аналогично составу № 1 обнаружены виды *Fusarium moniliforme*, *Fusarium avenaceum*, *Chaetomium dolichotrichum*. Совпадающие с составом № 1 культуры *Chaetomium globosum*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium nigricans*, *Cladosporium elatum* и культура *Botryosporium piluliferum*, относящаяся к неопределенному семейству, найдены только на образцах состава № 6. Соответственно, культура, аналогичная найденной на образцах состава № 1, находящаяся только на образце № 4, – *Alternaria pluriseptata*. Виды грибов, найденные на образцах составов, наполненных картоном, не совпадающие с найденными на образцах эталонного состава, – *Stachybotrys chartarum*, *Rhizopus cohnii* (семейство *Mucoraceae*, состав № 4) и *Aspergillus oryzae* (семейство *Trichocomaceae*, состав № 6).

Микромицеты, присутствующие в составе №3, значительно отличаются по видовому составу от эталонного. Идентичны лишь *Chaetomium dolichotrichum*, *Paecilomyces variotii* и *Penicillium nigricans*. Характерными же для этого состава являются виды: *Alternaria brassicae*, *Aspergillus ustus*, *Penicillium corylophilum*, *Aspergillus oryzae*, *Stachybotrys chartarum* и *Rhizopus cohnii*.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлен видовой состав мицелиальных грибов, заселяющихся на поверхности образцов на основе эпоксидных композитов при их экспозиции в воздушной среде Черноморского побережья и после старения в морской воде. Полученные результаты могут быть использованы для выбора биоцидных добавок, предотвращающих биообрастание.

Выводы

1. Установлены виды культур плесневых грибов, колонии которых преимущественно развиваются в тех или иных условиях экспонирования.
2. Установлены модельные среды для дальнейшего изучения коррозионных процессов, вызванных микромицетами.
3. Подобраны исходные данные для выбора биоцидных добавок, усиливающих биостойкость и фунгицидные свойства модифицированных эпоксидных композитов.

Список литературы

1. Гаврилов, М.А. Исследование видового разнообразия грибов-литобионтов, выделенных с образцов модифицированных эпоксидных композитов в условиях морского климата / М.А. Гаврилов, В.Т. Ерофеев, В.А. Худяков // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – №1 (36). – С. 55–58.

2. 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.

3. Анализ видового состава микроорганизмов на поверхности образцов из эпоксидных композитов после экспозиции в климатических условиях морского побережья и старения в морской воде / В.Т. Ерофеев, Д.А. Губанов, М.А. Гаврилов, Е.А. Захарова, В.В. Ушкина // В сборнике: Актуальные вопросы архитектуры и строительства: материалы 15-й Международной научно-технической конференции. – 2017. – С. 367–372.

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

5. Вяземская, Н.И. Применение эпоксидных полимербетонов для ремонта гидротехнических сооружений / Н.И. Вяземская, Е.В. Калинин // Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1976. – С. 188–189.

6. Защита полимербетонов от биоповреждений / В.Т. Ерофеев, И.В. Шевченко, В.Ф. Манухов [и др.] // Биохимические основы защиты промышленных материалов от биоповреждений. – Н. Новгород, 1991. – С. 15–18.

References

1. Gavrilov, M.A. Research of lithobiontic fungal varieties in modified epoxy resin samples in nautic climate / M.A. Gavrilov, V.T. Erofeev, V.A. Hudjakov // Regional architecture and engineering. – 2018. – Vol. 1 (36). – P. 55–58.

2. 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.

3. Analysis of fungal variety of microorganisms on the surface of epoxy composite samples after exposition in nautic climate and sea water / V.T. Erofeev, D.A. Gubanov, M.A. Gavrilov, E.A. Zakharova, V.V. Ushkina // Actual problems of architecture and construction. Materials of Fifteenth International Scientific and Technical Conference. – 2017. – P. 367–372.

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

5. Vyazemskaya, N.I. Application of polymeric concretes for repairing of hydro technical facilities / N.I. Vyazemskaya, E.V. Kalinin // Perspectives of application of polymeric concretes and concrete polymers in construction industry. – М.: Stroyizdat, 1976. – P. 188–189.

6. Protection of polymeric concretes from biological destruction / V.T. Erofeev, I.V. Shevchenko, V.F. Manukhov [etc.] // Biochemical basics of protection of industrial materials from biological destruction. – N. Novgorod, 1991. – P. 15–18.

УДК 691.327:539.32

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

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

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

Полубарова Юлия Владимировна,
аспирант

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

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

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

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

Makridin Nikolai Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Technology of building materials
and woodworking»

Polubarova Yulia Vladimirovna,
Postgraduate student

Ogarev Mordovia State University

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

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

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ДИАПАЗОНЕ ВРЕМЕНИ ОТ 28 СУТОК ДО 4,5 ЛЕТ ПОСЛЕ ПРОПАРКИ

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

Приведены экспериментально полученные данные по изучению влияния количественной дозировки и процедуры дозирования суперпластификатора С-3 на характер изменения параметров конструкционной прочности цементного камня во временном диапазоне от 28 суток до 4,5 лет. Получены математические модели изменения предела прочности на осевое сжатие, предела прочности на растяжение при изгибе, критического коэффициента интенсивности напряжения и энергии акустической эмиссии. Произведена сравнительная оценка названных параметров, полученных в результате физического эксперимента и на основе феноменологических моделей.

Ключевые слова: цементный камень, суперпластификатор С-3, процедура приготовления цементного теста, структурообразование, твердение, прочность, коэффициент интенсивности напряжения, акустическая эмиссия, параметры конструкционной прочности

COMPLEX EVALUATION OF KINETIC PARAMETERS OF STRUCTURAL STRENGTH OF CEMENT STONE IN THE RANGE OF TIME FROM 28 DAYS UP TO 4,5 YEARS AFTER THE PREPARATION

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

Experimental data on the effect of quantitative dosage and the procedure of dosing superplasticizer S-3 on the character of structural strength parameters change of cement stone in the time range from 28 days to 4,5 years are presented. Mathematical models of the change of tensile

strength for axial compression, tensile strength at bending, critical stress intensity factor and acoustic emission energy are obtained. The above parameters obtained in the result of a physical experiment and on the basis of phenomenological models are comparatively evaluated.

Keywords: cement stone, superplasticizer C-3, cement paste preparation procedure, structure formation, hardening, strength, stress intensity factor, acoustic emission, structural strength parameters

Как известно, конструкционная прочность материалов – это комплексная механическая характеристика, включающая сочетание критериев прочности, надежности и долговечности [1].

В современных условиях поиска путей получения и использования в строительной практике бетонов нового поколения (БНП) с очень высокими показателями прочности, однородности и низкой пористости проблема конструкционной прочности БНП приобретает особый научный и практический интерес с позиций как выбора технологической оптимизации структуры, так и прогнозирования параметров конструкционных свойств композита во времени.

В работе [2] приведены кинетические зависимости процессов структурообразования и твердения цементных композитов, отражающие ранние стадии процессов гидратационного структурообразования во временном интервале до 90 суток при использовании бездобавочных и добавочных портландцементов и модифицирующей полифункциональной химической добавки пластифицирующего действия. Анализ процессов структурообразования бетона в этом временном интервале достаточно четко отражает влияние вида портландцемента и концентрации модифицирующей химической добавки ПДО-М на характер изменения прочности $R_{сж}$ и $R_{рп}$.

Обобщение результатов исследований, в том числе и собственных [3–14], позволяет констатировать, что наиболее рациональным способом регулирования структуры и свойств бетонов конструкционного назначения является модифицирование композиционных цементных смесей химическими добавками пластифицирующего действия, а изучение природы механического поведения цементных композитов с позиций структурной механики разрушения материалов (СМРМ) вызывает необходимость широкого внедрения в исследовательскую практику разработки и создания конструкционных материалов новых научных принципов комплексной оценки силовых и энергетических критериев конструкционной прочности с получением феноменологических математических моделей параметров этих критериев.

Целью нашего исследования являлось получение экспериментальных данных для определения феноменологических регрессионных моделей параметров конструкционной прочности цементного камня с позиций СМРМ: $R_{сж}$, $R_{рп}$, критического коэффициента интенсивности напряжения K_{1C} и эффективной акустической энергии разрушения $\mathcal{E}_{АЭ}$, полученных соответственно при неравновесных механических испытаниях на каждом опытном образце типа I по ГОСТ 29167-91 в зависимости: от возраста цементного камня после ТВО во временном интервале от 28 суток до 4,5 лет, от состава и структуры цементного камня, обусловленных водоцементным отношением (В/Ц), равным 0,24, разным количеством дозировки суперпластификатора (СП) С-3 и разной процедурой дозирования добавки СП С-3. Для исследования использовали бездобавочный сульфатостойкий портландцемент АО «Вольскцемент» марки 400 с нормальной плотностью, равной 24 %.

В табл. 1 приведены характеристики состава и процедуры двухстадийного затворения водой и введения добавки СП в цементное тесто сравниваемых серий опытных образцов.

Состав и процедура приготовления цементного теста

Серия образца	В/Ц	СП С-3, % от массы цемента	Процедура приготовления цементного теста
1	0,24	–	Ц + 0,12H ₂ O + 0,12H ₂ O
2	0,24	1,0	Ц + (0,12H ₂ O + 0,5СП) + (0,12H ₂ O + 0,5СП)
3	0,24	0,5	Ц + (0,12H ₂ O + 0,25СП) + (0,12H ₂ O + 0,25СП)
4	0,24	0,5	Ц + 0,12H ₂ O + (0,12H ₂ O + 0,5СП)

Опытные образцы-призмы типа I размером 40×40×160 мм с начальным надрезом глубиной 13 мм, полученным при формовании образцов путем закладывания стальной пластины, по методике ГОСТ 29167-91 «Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении» испытывали при неравновесных механических испытаниях на трехточечный изгиб с одновременной регистрацией на каждом образце прогиба с помощью индикатора часового типа и энергии акустической эмиссии (Э_{АЭ}) по методике [15]. Таким образом, как механические, так и акустические параметры трещиностойкости сравниваемых серий образцов в каждый контрольный срок испытания оценивали по трём образцам-близнецам, а прочность на осевое сжатие – соответственно, на шести половинках образцов-близнецов, полученных после испытания на изгиб. Одновременная оценка механических и акустических параметров трещиностойкости, а также прочности на осевое сжатие и растяжение при изгибе, на одних и тех же образцах в возрастном диапазоне от 28 суток до 4,5 лет, естественно, повышает достоверность полученных результатов.

В табл. 2 представлены результаты экспериментальной оценки силовых и энергетических параметров разрушения опытных образцов цементного камня сравниваемых серий в возрастном интервале времени от 28 суток до 4,5 лет.

Т а б л и ц а 2

Экспериментальные силовые и энергетические (акустические) параметры разрушения конструкционной прочности цементного камня

Параметр конструкционной прочности цементного камня	Показатели параметров образцов сравниваемых серий цементного камня в возрасте		
	28 суток	420 суток	4,5 года
1	2	3	4
Серия 1			
$R_{сж}$, МПа	76,7	87,5	96,9
$R_{ри}$, МПа	5,19	6,38	6,97
K_{IC} , МПа·м ^{0,5}	0,51	0,63	0,70
$\mathcal{E}_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,170	0,210	0,427
Серия 2			
$R_{сж}$, МПа	68,2	74,5	70,6
$R_{ри}$, МПа	3,88	6,69	6,37
K_{IC} , МПа·м ^{0,5}	0,38	0,66	0,63
$\mathcal{E}_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,108	0,270	0,308
Серия 3			
$R_{сж}$, МПа	94,1	103,2	96,1
$R_{ри}$, МПа	3,98	6,90	6,71
K_{IC} , МПа·м ^{0,5}	0,39	0,68	0,66
$\mathcal{E}_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,102	0,136	0,267

1	2	3	4
Серия 4			
$R_{сж}$, МПа	100,4	108,0	101,8
$R_{рн}$, МПа	4,00	7,46	7,20
K_{1C} , МПа·м ^{0,5}	0,39	0,73	0,71
$\mathcal{E}_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,117	0,255	0,416

Силовую характеристику трещиностойкости для образцов типа I при трехточечном изгибе $R_{рн}$ (МПа) вычисляли по формуле

$$R_{рн} = \frac{3P_C^*L}{2tb^2(1-\lambda)^2}, \quad (1)$$

где P_C^* – максимальная разрушающая нагрузка, Н; L – расстояние между опорами, м; t и b – соответственно ширина и высота сечения, м; $\lambda = a/b$ – относительная длина надреза.

Критический коэффициент интенсивности напряжения K_{1C} вычисляли по зависимости (9) ГОСТ 29167-91. Энергию акустической эмиссии $\mathcal{E}_{АЭ}$ как критерий трещиностойкости образцов определяли по [15] путем отношения зафиксированной акустико-эмиссионным устройством $\mathcal{E}_{АЭ}$ (В²) при нагружении образца до разрушения к поверхности его разрушения (см²).

Анализ характера влияния концентрации и процедуры введения СП С-3 (табл. 1) на закономерности изменения контролируемых критериев трещиностойкости во времени относительно 28-суточного возраста достаточно наглядно свидетельствует, во-первых, о том, что изменение параметров трещиностойкости во времени носит волнообразный характер, как и изменение прочности на осевое сжатие, а во-вторых, о том, что модифицированные структуры образцов цементного камня серий 2-4 относительно контрольного состава (серия 1) дают заметные отклонения показателей абсолютных значений критериев по трещиностойкости во все сроки испытаний вплоть до 4,5-летнего возраста. При этом модифицирование структуры цементного теста нормальной густоты СП С-3, дозируемого с водой затворения в количестве 1 % от массы цемента (образцы серии 2), приводило к ухудшению практически всех параметров качества в контрольные сроки испытания образцов относительно контрольного состава серии 1, а модифицирование цементного теста нормальной густоты путем изменения процедуры дозирования СП в количестве 0,5 % от массы цемента при двухстадийном дозировании воды затворения (соответственно образцы серий 3 и 4) показало улучшение контролируемых параметров качества цементного камня этих серий относительно контрольного состава. Причем более эффективное улучшение свойств показали образцы, при модификации структуры которых весь СП вводили в цементное тесто со второй частью воды затворения.

Полученные данные по формированию начальной и длительной конструкционной прочности и ее параметров позволяют говорить о том, что в основе синтеза этих механических свойств, отражающих разные стороны напряженного состояния материала при оценке этих параметров качества, лежат разные механизмы, протекание которых во времени может в определенной мере контролироваться химико-технологическим воздействием на основные элементарные процессы адсорбции, гидролиза, гидратации и структурообразования в самом начале приготовления цементной дисперсной системы, то есть, другими словами, на начальном этапе смешивания ничто не должно мешать взаимодействию минералов цемента с водой, и это должно являться основополагающим технологическим принципом модифицирования гидратационной структуры цементной дисперсной системы современными суперпластификаторами [13].

Значения эмпирических коэффициентов корреляции и уравнений регрессии параметров конструкционной прочности цементного камня в возрасте от 28 суток до 4,5 лет

№ серии	Параметр конструкционной прочности цементного камня	Вид функции	a	Значения коэффициентов		Числитель – значение параметра по формуле; знаменатель – значение параметра по эксперименту		
				b	b	28 суток	420 суток	4,5 года
Серия 1	$R_{сж}$, МПа	$R_{сж} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,999	0,015356	-0,000672	$\frac{76,238}{76,7}$	$\frac{88,519}{87,5}$	$\frac{96,325}{96,9}$
	$R_{пр}$, МПа	$R_{пр} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,999	0,230991	-0,011947	$\frac{5,231}{5,19}$	$\frac{6,296}{6,38}$	$\frac{7,015}{6,97}$
	K_{1C} , МПа·м ^{0,5}	$K_{1C} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,999	2,390359	-0,130270	$\frac{0,511}{0,51}$	$\frac{0,624}{0,626}$	$\frac{0,701}{0,7}$
	$\Theta_{AЭ}$, В ² ·см ⁻²	$\Theta_{AЭ} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,989	11,772342	-1,268354	$\frac{0,133}{0,17}$	$\frac{0,243}{0,21}$	$\frac{0,420}{0,427}$
Серия 2	$R_{сж}$, МПа	$R_{сж} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,998	0,014967	-0,000160	$\frac{69,282}{68,2}$	$\frac{71,426}{74,5}$	$\frac{72,555}{70,6}$
	$R_{пр}$, МПа	$R_{пр} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,984	0,292194	-0,019641	$\frac{4,410}{3,88}$	$\frac{5,762}{6,69}$	$\frac{6,812}{6,37}$
	K_{1C} , МПа·м ^{0,5}	$K_{1C} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,984	2,979433	-0,200561	$\frac{0,433}{0,381}$	$\frac{0,566}{0,656}$	$\frac{0,669}{0,626}$
	$\Theta_{AЭ}$, В ² ·см ⁻²	$\Theta_{AЭ} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,980	10,118024	-0,947445	$\frac{0,144}{0,108}$	$\frac{0,228}{0,27}$	$\frac{0,322}{0,308}$
Серия 3	$R_{сж}$, МПа	$R_{сж} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,998	0,010732	-0,000090	$\frac{95,858}{94,1}$	$\frac{98,151}{103,3}$	$\frac{99,347}{96,1}$
	$R_{пр}$, МПа	$R_{пр} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,985	0,287753	-0,019951	$\frac{4,519}{3,98}$	$\frac{5,979}{6,9}$	$\frac{7,139}{6,71}$
	K_{1C} , МПа·м ^{0,5}	$K_{1C} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,985	2,922165	-0,201789	$\frac{0,444}{0,392}$	$\frac{0,587}{0,677}$	$\frac{0,700}{0,658}$
	$\Theta_{AЭ}$, В ² ·см ⁻²	$\Theta_{AЭ} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,993	18,749062	-2,019688	$\frac{0,083}{0,102}$	$\frac{0,153}{0,136}$	$\frac{0,263}{0,267}$
Серия 4	$R_{сж}$, МПа	$R_{сж} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,998	0,010023	-0,000063	$\frac{101,905}{100,4}$	$\frac{103,708}{108,0}$	$\frac{104,639}{101,8}$
	$R_{пр}$, МПа	$R_{пр} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,981	0,281812	-0,020537	$\frac{4,687}{4,0}$	$\frac{6,339}{7,46}$	$\frac{7,705}{7,2}$
	K_{1C} , МПа·м ^{0,5}	$K_{1C} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,981	2,868110	-0,208667	$\frac{0,460}{0,393}$	$\frac{0,622}{0,732}$	$\frac{0,756}{0,706}$
	$\Theta_{AЭ}$, В ² ·см ⁻²	$\Theta_{AЭ} = \frac{1}{a + b \ln(t)}$	0,998	9,988323	-1,024057	$\frac{0,152}{0,117}$	$\frac{0,263}{0,255}$	$\frac{0,415}{0,416}$

Анализ численных значений параметров конструкционной прочности сравниваемых серий опытных образцов и характера изменения этих параметров в рассматриваемом диапазоне возраста цементного камня, приведенных в табл. 3, как по экспериментальным данным, так и по математическим зависимостям описания процесса

структурообразования и твердения позволяет, прежде всего, отметить, что модифицирование структуры цементного камня суперпластификатором приводит не только к заметному изменению численных значений параметров конструкционной прочности, но и к более заметному колебанию отклонений рассматриваемых параметров, найденных экспериментально и по аналитической формуле. При этом относительно прочности на осевое сжатие параметры $R_{\text{пр}}$, K_{1C} и $\Delta_{AЭ}$ по колебанию численных отклонений являются более структурно чувствительными параметрами.

Так, для образцов цементного камня в возрасте до 4,5 лет контрольные образцы серии I показывали превышение (+) и уменьшение (-) для численных значений параметра $R_{\text{сж}}$, полученных по формуле, относительно эксперимента в пределах от +1,1 до -0,6 %; а для образцов серий 2, 3 и 4 – соответственно, от +2,8 до -4,3 %; от +3,4 до -5,2 % и от +2,9 до -4,1 %. Для параметра $R_{\text{пр}}$ образцы контрольной серии показали отклонение от +0,8 до -1,3 %, а образцы серий 2, 3 и 4, соответственно, – от +13,6 до -16,1 %; от +13,5 до -15,4 % и от +17,2 до -17,7 %. Для параметра K_{1C} образцы контрольной серии показали отклонение от +0,2 до -0,3 %, а образцы серий 2, 3 и 4, соответственно, – от +13,6 до -15,9 %; от +13,3 до -15,3 % и от +17,0 до -17,7 %. И наконец, для параметра $\Delta_{AЭ}$ образцы контрольной серии показали отклонение от +15,7 до -27,8 %, а образцы серий 2, 3 и 4 – соответственно, от +33,3 до -18,4 %; от +12,5 до -22,9 % и от +29,9 до -0,2 %.

Математическая обработка полученных в наших опытах экспериментальных данных (табл. 2) с использованием программно-компьютерных математических методов позволила получить феноменологическое математическое описание процессов структурообразования и твердения параметров конструкционной прочности цементного камня сравниваемых серий образцов, представленное в табл. 3.

Общее уравнение:

$$R_{\text{сж}} = \frac{1}{a + b \ln(t)}, \quad (2)$$

где a , b – эмпирические коэффициенты; t – продолжительность структурообразования, сут.

Проведенная комплексная оценка характеристик качества конструкционной прочности цементного камня позволила найти новые более дифференцированные показатели поведения материала под нагрузкой и установить зависимости этих характеристик от структуры и возраста цементного камня.

Математическая обработка результатов эксперимента, представленная в табл. 3, позволила получить соответствующие уравнения регрессии, установить численные значения эмпирических коэффициентов уравнений регрессии и коэффициенты корреляции этих уравнений для контрольных сроков испытаний образцов, приведенных в таблицах.

Из анализа численных значений коэффициентов корреляции следует, что между рассматриваемыми величинами наблюдается достаточно тесная временная связь, а сами функции регрессии могут быть использованы как прогностические – для оценки изменения характеристик качества дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня во времени. Проверка значимости коэффициентов корреляции для параметра $R_{\text{сж}}$ показала, что во всех рассматриваемых зависимостях коэффициенты корреляции являются значимыми с надежностью вывода не менее 0,94.

Список литературы

1. Материаловедение / под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

2. Максимова, И.Н. О кинетических зависимостях процессов структурообразования и твердения цементных композитов / И.Н. Максимова, Н.И. Макридин // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 4 (33). – С. 29–35.
3. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
4. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: АСВ, 2006. – 368 с.
5. Тараканов, О.В. Бетоны с модифицирующими добавками на основе вторичного сырья / О.В. Тараканов. – Пенза: ПГУАС, 2004. – 564 с.
6. Структурообразование и разрушение цементных бетонов / В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов, П.Г. Комохов. – Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. – 376 с.
7. Калашников, В.И. Через рациональную реологию в будущее бетонов / В.И. Калашников // Технология бетонов. – 2007. – №5. – С. 8–10; №6. – С. 8–11; 2008. – №1. – С. 22–26.
8. Каприелов, С.С. Влияние состава органоминеральных модификаторов серии «МБ» на их эффективность / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. – 2001. – №5. – С. 11–15.
9. Несветаев, Г.В. Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах / Г.В. Несветаев // Строительные материалы. – 2006 – № 10. – С. 23–25.
10. Фазовый состав и механические свойства модифицированной гидратационной структуры цементного камня многолетнего твердения / Н.И. Макридин, О.В. Тараканов, И.Н. Максимова И.А. Суров // Приволжский научный журнал. – 2014. – №4 (32). – С. 127–132.
11. Комплексная оценка параметров качества структуры и механики разрушения цементного камня / Н.И. Макридин, И.Н. Максимова, В.Т. Ерофеев, Ю.В. Полубарова // Известия вузов. Строительство. – 2015. – №3. – С. 14–22.
12. Максимова, И.Н. Взаимосвязь кинетических зависимостей внутреннего трения, модуля упругости и параметров разрушения конструкционной прочности модифицированных суперпластификатором С-3 структур цементных композитов / И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, Е.В. Королев // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 4 (33). – С. 36–46.
13. Влияние процедуры дозирования суперпластификатора на фазовый состав и параметры механики разрушения цементного камня разного возраста / И.Н. Максимова, В.Т. Ерофеев, Н.И. Макридин, Е.А. Тамбовцева // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №3 (28). – С. 21–27.
14. Сравнительный анализ влияния суперпластификатора на процесс и параметры разрушения цементного камня по методу акустической эмиссии / И.Н. Максимова, В.Т. Ерофеев, Н.И. Макридин, Ю.В. Полубарова // Региональная архитектура и строительство, 2016. – №2 (27). – С. 4–9.
15. Макридин, Н.И. Метод акустической эмиссии в строительном материаловедении / Н.И. Макридин, Е.В. Королев, И.Н. Максимова // Строительные материалы. – 2007. – №3. – С. 25–27.

References

1. Material science / ed. B.N. Arzamasov. – М.: Mechanical Engineering, 1986. – 384 p.
2. Maksimova, I.N. On the kinetic dependencies of the processes of structure formation and hardening of cement composites / I.N. Maksimova, N.I. Makridin // Regional architecture and engineering. – 2017. – No.4 (33). – P. 29–35.
3. Batrakov, V.G. Modified concrete. Theory and practice / V.G. Batrakov. – 2 nd ed. – М.: Stroiizdat, 1998. – 768 p.
4. Bazhenov, Yu.M. Modified high-quality concrete / Yu.M. Bazhenov, V.S. Demyanova, V.I. Kalashnikov. – М.: ASV, 2006. – 368 p.

5. Tarakanov, O.V. Concretes with modifying additives based on secondary raw materials / O.V. Tarakanov. – Penza: PGUAS, 2004. – 564 p.
6. Structurization and destruction of cement concretes / V.V. Babkov, V.N. Mokhov, S.M. Kapitonov, P.G. Komokhov. – Ufa: State Unitary Enterprise «Ufa polygraphcombinat», 2002. – 376 p.
7. Kalashnikov, V.I. Through rational rheology in the future of concrete / V.I. Kalashnikov // *Technology of concrete*. – 2007. – No.5. – P. 8–10; No.6. – P. 8–11; 2008. – No.1. – P. 22–26.
8. Kaprielov, S.S. Influence of the composition of organomineral modifiers of the MB series on their effectiveness / S.S. Kaprielov, A.V. Sheynfeld // *Concrete and reinforced concrete*. – 2001. – No.5. – P. 11–15.
9. Nesvetaev, G.V. Efficiency of superplasticizers in concrete application / G.V. Nesvetaev // *Building Materials*, 2006 – No.10. – P. 23–25.
10. Makridin, N.I. Phase composition and mechanical properties of the modified hydration structure of the cement stone for many years of hardening / N.I. Makridin, O.V. Tarakanov, I.N. Maksimova, I.A. Surov // *Privolzhsky scientific journal*. – 2014. – No.4 (32). – P. 127–132.
11. Complex assessment of the quality parameters of the structure and mechanics of destruction of cement stone / N.I. Makridin, I.N. Maksimova, V.T. Erofeev, Yu.V. Polubarova // *Izvestiya of high schools. Building*. – 2015. – No.3. – P. 14–22.
12. Maksimova, I.N. Interrelation of kinetic dependences of internal friction, elastic modulus and parameters of failure of structural strength modified by superplasticizer C-3 structures of cement composites / I.N. Maksimova, N.I. Makridin, E.V. Korolev // *Regional architecture and engineering*. – 2017. – No.4 (33). – P. 36–46.
13. Influence of dosing procedure of superplasticizer on phase composition and parameters of fracture mechanics of cement stone of different ages / I.N. Maksimova, V.T. Erofeev, N.I. Makridin, E.A. Tambovtseva // *Regional architecture and engineering*. – 2016. – No.3 (28). – P. 21–27.
14. Comparative analysis of the effect of superplasticizer on the process and parameters of destruction of cement stone using the acoustic emission method / I.N. Maksimova, V.T. Erofeev, N.I. Makridin, Yu.V. Polubarova // *Regional Architecture and engineering*. – 2016. – No.2 (27). – P. 4–9.
15. Method of acoustic emission in building materials science / N.I. Makridin, E.V. Korolev, I.N. Maksimova // *Building Materials*. – 2007. – No.3. – P. 25–27.

УДК 691.327:539.32

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

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

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

*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

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

Московский университет имени С.Ю. Витте
440011, г. Пенза, ул. Вяземского, д.25 «Б»
тел.: (8412) 42-92-46

Туманова Наталья Николаевна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Управление»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Makridin Nikolai Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Technology of building materials
and woodworking»

Ogarev Mordovia State University

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

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

Moscow University named after S.Yu. Witte,
440011, Penza, 25 «B» Vyazemsky St.,
tel.: (8412) 42-92-46

Tumanova Natalia Nikolaevna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Management»

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ И ПРОЦЕДУРЫ ДОЗИРОВАНИЯ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА НА ЭНЕРГИЮ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ СИЛОВОМ РАЗРУШЕНИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ИНТЕРВАЛЕ ВРЕМЕНИ 18 ЛЕТ

И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, В.Т. Ерофеев, Н.Н. Туманова

Экспериментально показано влияние суперпластификатора на формирование параметров качества структуры цементного камня в широком временном диапазоне с оценкой прочности при сжатии, прочности на растяжение при изгибе, коэффициента интенсивности напряжения, энергии разрушения, суммарной удельной энергии акустической эмиссии и силы продвижения трещины для сравниваемых образцов с позиций структурной механики разрушения материала. Структурно-системный анализ механического поведения цементного камня под нагрузкой позволяет использовать полученную информацию для улучшения понимания самого процесса разрушения и выявления параметров материала, определяющих вязкость его разрушения, и на этой основе осуществлять рациональную технологическую оптимизацию структуры и технологию получения цементных систем повышенной трещиностойкости.

Ключевые слова: цементный камень, суперпластификатор С-3, прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе, коэффициент интенсивности напряжения, энергия разрушения, суммарная удельная энергия акустической эмиссии, сила продвижения трещины

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CONCENTRATION AND PROCEDURES OF SUPERPLASTIFICATOR DOSING ON THE ENERGY OF ACOUSTIC EMISSION AT CEMENT STONE DESTRUCTION IN THE TIME INTERVIEW OF 18 YEARS

I.N. Maksimova, N.I. Makridin V.T. Erofeev, N.N. Tumanova

The effect of the superplasticizer on the formation of the quality parameters of the cement stone structure in a wide time range is experimentally evaluated with assessment of compressive strength, flexural strength, stress intensity factor, fracture energy, total specific energy of acoustic emission, and crack propagation force of the samples compared from structural mechanics of material destruction. Structural and system analysis of the mechanical behavior of cement stone under loading makes it possible to use the obtained information to improve understanding of the process of destruction and to reveal material parameters that determine the viscosity of its destruction, and on this basis to carry out rational technological optimization of the structure and technology of obtaining cement systems increased crack resistance.

Keywords: cement stone, superplasticizer C-3, compressive strength, flexural tensile strength, stress intensity factor, fracture energy, total specific energy of acoustic emission, crack propagation force

По современным воззрениям, повышение прочности цементного камня и бетона в результате применения пластифицирующих добавок обусловлено не только сокращением воды в бетонной смеси, а следовательно, и сокращением объема пор в цементном камне, но и диспергированием агрегированных частиц цемента, изменением электрических явлений на межфазовых границах цементных частиц и условий протекания процессов гидролиза и гидратации. По мнению В.Г. Батракова [1], химические добавки являются ключом к решению технологических проблем современных бетонов и позволяют кардинально изменять реотехнологические свойства цементных систем, плотность, однородность и прочность структуры матричной фазы цементных композитов.

Нами показано [2] влияние концентрации и процедуры введения суперпластификатора в цементно-водную композицию на субмолекулярную гетерогенность структуры цементного камня. По ионизационным рентгенограммам цементного камня в возрастном диапазоне от 28 суток до 18 лет определены величины его блоков мозаики L_d , по О.П. Мчедлову-Петросяну [3], позволяющие судить о гранулометрической однородности структуры образующихся фаз, о степени упорядоченности кристаллов, о величине удельной поверхности образующихся фаз и плотности дислокаций в структуре, определяющих в конечном итоге прочность цементного камня как матричной основы бетонов повышенной прочности. Однако все эти данные не раскрывают влияние суперпластификатора на процесс и параметры разрушения цементного камня с позиций структурной механики разрушения материалов.

В данной работе представлены результаты экспериментальной оценки и идентификации процесса разрушения образцов цементного камня типа I по ГОСТ 29167 по энергетическому параметру акустической эмиссии ($\sum \mathcal{E}_{АЭ}$, В²/см²), который регистрировали с помощью акустико-эмиссионного устройства [4] в реальном масштабе времени при неравновесных механических испытаниях опытных образцов.

Для изготовления опытных образцов цементного камня при исследовании влияния добавки суперпластификатора на процесс и параметры его механического разрушения был использован бездобавочный сульфатостойкий портландцемент марки 400 Вольского завода с нормальной густотой 24 %. Было изготовлено четыре серии образцов типа I размером 4×4×16 см с В/Ц=0,24, наиболее характерных по процедуре введения и расходу суперпластификатора. При этом контрольная серия образцов 1 была приготовлена без суперпластификатора (СП) С-3, серия 2 была приготовлена с дозировкой СП в количестве 1 % от массы цемента. Суперпластификатор предварительно растворяли в воде затворения. Образцы серии 3 были приготовлены с двухстадийным введением воды затворения, при этом суперпластификатор вводили с первой и второй частью воды затворению поровну. Образцы серии 4 приготавливали также при двухста-

дийном введении воды затворения, при этом весь объем суперпластификатора вводили со второй частью воды затворения.

Формование образцов осуществляли на лабораторной виброплощадке со стандартными параметрами вибрации в течение 3–5 с. Отформованные образцы размещали над водой в закрытой гидравлической ванне. После выдержки в течение 17 часов образцы подвергали в лаборатории тепло-влажностной обработке по режиму: подъем температуры два часа, изотермическая выдержка восемь часов при 85–90 °С, естественное остывание образцов в пропарочной камере. Далее образцы находились в естественных лабораторных условиях, где в зависимости от сезона температура и относительная влажность изменялись соответственно в диапазоне 8–24 °С и 56–90 %.

Кинетику изменения суммарной энергии акустической эмиссии и важнейших параметров трещиностойкости цементного камня на образцах серий 1–4 наблюдали в течение 18 лет. Следует отметить, что оценку контролируемых параметров во все сроки испытаний проводили в лаборатории при температуре (20±2) °С и относительной влажности 58–60 %.

На рис. 1–4 представлены экспериментальные кинетические зависимости 1–3 суммарной энергии акустической эмиссии (АЭ) на кривой нагружения сравниваемых серий опытных образцов цементного камня типа I при неравновесных механических испытаниях соответственно в возрасте 28 и 420 суток и 18 лет.

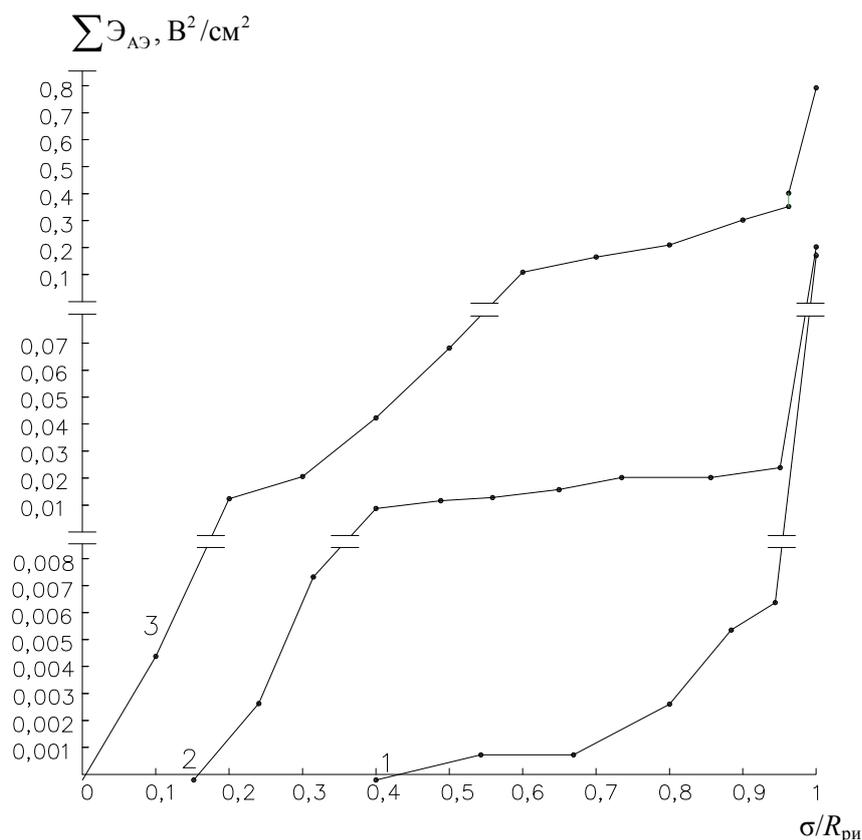


Рис. 1. Зависимости суммарной энергии акустической эмиссии $\sum \mathcal{E}_{\text{АЭ}}, \text{В}^2/\text{см}^2$, от относительного напряжения $\sigma/R_{\text{пр}}$ для образцов цементного камня серии 1:

1 – в возрасте 28 суток; 2 – в возрасте 420 суток; 3 – в возрасте 18 лет

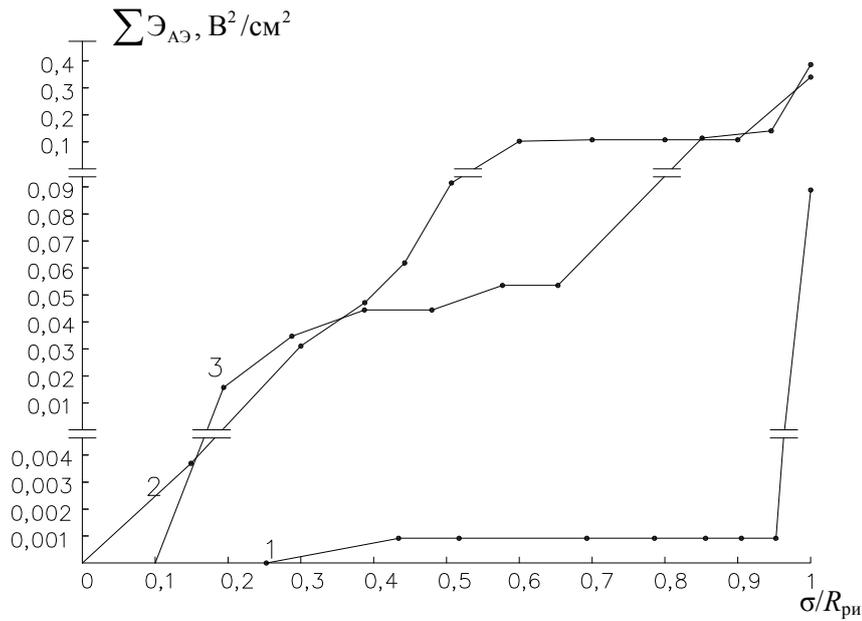


Рис. 2. Зависимости суммарной энергии акустической эмиссии $\Sigma \mathcal{E}_{\text{АЭ}}$, $\text{В}^2/\text{см}^2$, от относительного напряжения $\sigma/R_{\text{пр}}$ для образцов цементного камня серии 2: 1 – в возрасте 28 суток; 2 – в возрасте 420 суток; 3 – в возрасте 18 лет

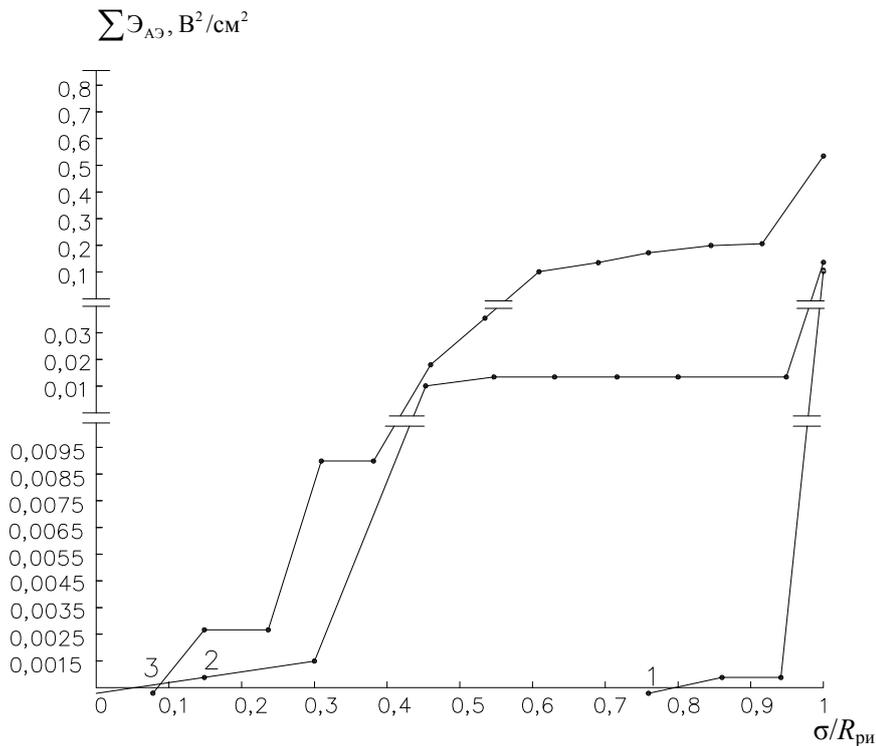


Рис. 3. Зависимости удельной суммарной энергии акустической эмиссии $\Sigma \mathcal{E}_{\text{АЭ}}$, $\text{В}^2/\text{см}^2$, от интенсивности напряжения $\sigma/R_{\text{пр}}$ для образцов цементного камня серии 3: 1 – в возрасте 28 суток; 2 – в возрасте 420 суток; 3 – в возрасте 18 лет

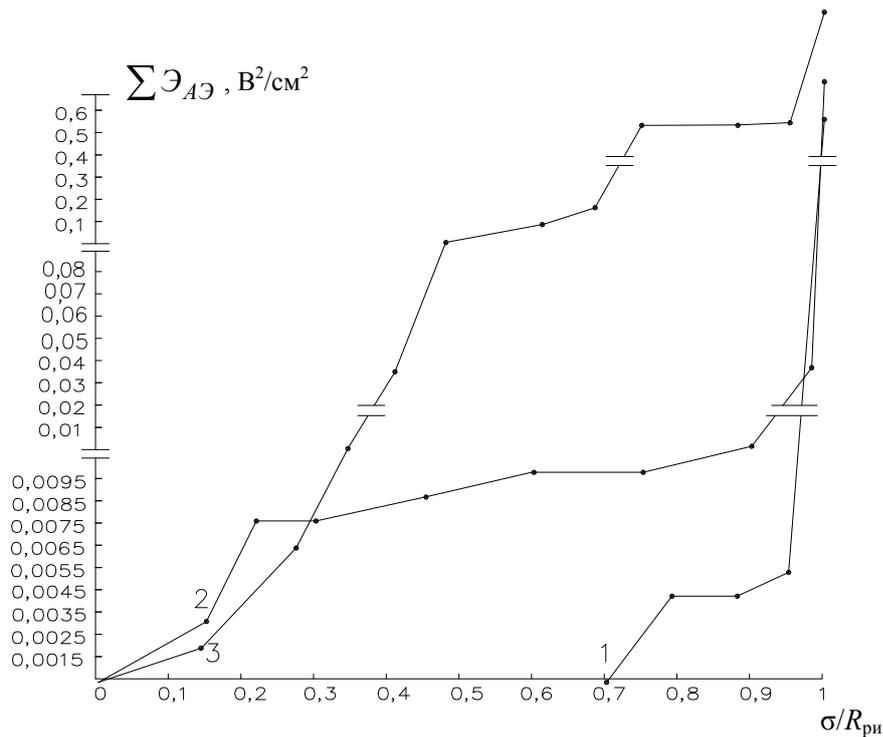


Рис. 4. Зависимости удельной суммарной энергии акустической эмиссии $\sum \mathcal{E}_{АЭ}$, В²/см², от интенсивности напряжения $\sigma/R_{пр}$ для образцов цементного камня серии 4: 1 – в возрасте 28 суток; 2 – в возрасте 420 суток; 3 – в возрасте 18 лет

Из анализа зависимостей 1–3 следует, что при прочих равных условиях регистрации суммарной энергии акустической эмиссии интенсивность энергии АЭ от уровня нагружения опытных образцов цементного камня сравниваемых серий, с одной стороны, в возрасте 28 суток значительно ниже, чем интенсивность в возрасте 420 суток и тем более в возрасте 18 лет, что, естественно, обусловлено как различной степенью гидратации цемента, так и упрочнением структуры во времени, связанным с переходом части адгезионных контактов электромагнитной и электростатической природы в кристаллизационные связи валентной природы [5]. С другой стороны – интенсивность суммарной энергии АЭ опытных образцов серии I в возрасте 18 лет оказалась в два раза выше, чем у образцов серии № 2 в том же возрасте, что отражает особенности гидратационного твердения цементного вяжущего при изменении условий твердения в присутствии добавки СП.

Стохастичность акустической эмиссии на этапах нагружения обусловлена неравновесными фазовыми переходами, соответствующими особой точке (точке бифуркации), при достижении которой скачкообразно изменяются свойства из-за самоорганизации процесса развития дефекта структуры, и тем, что в линейно упругом материале сингулярное поле напряжений вблизи вершины острой трещины характеризуется коэффициентами интенсивности напряжения K_1 , K_2 и K_3 , отражающими различные пути раскрытия трещин разрушения [6].

Ранее [7] рентгенофазовыми исследованиями опытных образцов сравниваемых серий в возрасте цементного камня 18 лет было показано, что в цементной системе в присутствии СП, содержащего активные функциональные группы, параллельно протекают, с одной стороны, процессы активации гидратации вследствие диспергирования частиц вяжущего, а с другой – процессы изменения морфологии гидросиликатов кальция и перекристаллизации гидратов, что приводит к существенному изменению дисперсно-кристаллитной структуры, свойств и параметров механического поведения цементных материалов.

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

Показатели качества образцов серий 1–4

Свойства и параметры качества цементного камня	Показатели качества сравниваемых серий образцов в возрасте		
	28 суток	420 суток	18 лет
Серия 1			
Плотность, кг/м ³	2081	2090	2081
Прочность при сжатии, $R_{сж}$, МПа	76,7	87,5	90
Прочность на растяжение при изгибе, $R_{bif}(R_{рп})$, МПа	5,19	6,38	5,35
Коэффициент интенсивности напряжений, $K_{1с}$, МПа·м ^{0,5}	0,51	0,626	0,525
Энергия разрушения, $G_{1с}$, Дж/м ²	–	85,6	115,6
Суммарная удельная энергия АЭ, $\Sigma \Delta_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,17	0,21	0,79
Сила продвижения трещины, $G_{1с}$, Н/м	10,77	15,77	11,52
Серия 2			
Плотность, кг/м ³	2091	2120	2052
Прочность при сжатии, $R_{сж}$, МПа	68,2	74,5	81,8
Прочность на растяжение при изгибе, $R_{bif}(R_{рп})$, МПа	3,88	6,69	6,53
Коэффициент интенсивности напряжений, $K_{1с}$, МПа·м ^{0,5}	0,381	0,656	0,641
Энергия разрушения, $G_{1с}$, Дж/м ²	–	75,3	122,7
Суммарная удельная энергия АЭ, $\Sigma \Delta_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,108	0,27	0,39
Сила продвижения трещины, $G_{1с}$, Н/м	6,2	18,61	17,6
Серия 3			
Плотность, кг/м ³	2110	2100	1991
Прочность при сжатии, $R_{сж}$, МПа	94,1	103,2	104,7
Прочность на растяжение при изгибе, $R_{bif}(R_{рп})$, МПа	3,98	6,9	6,18
Коэффициент интенсивности напряжений, $K_{1с}$, МПа·м ^{0,5}	0,392	0,677	0,606
Энергия разрушения, $G_{1с}$, Дж/м ²	–	94,2	159,6
Суммарная удельная энергия АЭ, $\Sigma \Delta_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,102	0,143	0,533
Сила продвижения трещины, $G_{1с}$, Н/м	8,6	23,47	18,54
Серия 4			
Плотность, кг/м ³	2093	2091	1882
Прочность при сжатии, $R_{сж}$, МПа	100,4	108,0	119,5
Прочность на растяжение при изгибе, $R_{bif}(R_{рп})$, МПа	4,0	7,46	7,0
Коэффициент интенсивности напряжений, $K_{1с}$, МПа·м ^{0,5}	0,393	0,732	0,697
Энергия разрушения, $G_{1с}$, Дж/м ²	–	90,6	156,9
Суммарная удельная энергия АЭ, $\Sigma \Delta_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,114	0,278	0,532
Сила продвижения трещины, $G_{1с}$, Н/м	8,13	26,22	21,49

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

Анализ численных значений показателей механического качества сравниваемых серий образцов в контрольные сроки твердения, приведенных в таблице, позволяет констатировать, что прочность при сжатии $R_{сж}$ как контрольных, так и модифицированных структур цементного камня имеет тенденцию роста. Образцы первой серии показали рост на 17,3 %, а образцы второй серии – на 19,9 %. При этом образцы серии 2 с СП в количестве 1 % от массы цемента во все сроки испытания показали меньшие значения $R_{сж}$ относительно контрольных образцов. Что касается прочности образцов $R_{сж}$ образцов серии 3 и 4 с дозировкой СП С-3 в количестве 0,5 % от массы цемента, то следует отметить, что их прочность $R_{сж}$ оказалась выше прочности $R_{сж}$ контрольной серии образцов 1 во все контрольные сроки испытаний. При этом превышение значений прочности $R_{сж}$ образцов серий 3 и 4 в 18-летнем возрасте составляло, соответственно, 16,3 и 32,7 %, что позволяет, в свою очередь, отметить влияние количественной дозировки СП на процессы формирования дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня при одинаковом значении В/Ц отношения.

Анализ значений прочности на растяжение при трехточечном изгибе $R_{ри}$ сравниваемых серий отражает другую тенденцию изменения $R_{ри}$. Если в возрасте цементного камня 28 суток прочность $R_{ри}$ контрольных образцов превышала $R_{ри}$ образцов с СП на 33,8 %, то в возрасте 420 суток уже образцы с СП показали превышение $R_{ри}$ над контрольными образцами на 4,9 %. В возрасте же 18 лет, несмотря на некоторый спад $R_{ри}$ сравниваемых серий образцов, превышение $R_{ри}$ образцов цементного камня с СП над образцами без СП составляло уже 22 %. Аналогичный характер изменения на образцах сравниваемых серий цементного камня в рассматриваемом диапазоне времени показал и структурный параметр трещиностойкости материала – коэффициент интенсивности напряжений K_{1C} , что отражает влияние модифицирования дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня как на механизм и численные значения акустического параметра разрушения структуры под нагрузкой $\sum \mathcal{E}_{АЭ}$, так и на численные значения прочности и коэффициента интенсивности напряжений $R_{ри}$ и K_{1C} .

На основе комплексной оценки механического поведения дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня сравниваемых составов с позиций структурной механики разрушения материалов во временном интервале от проектного возраста 28 суток до 18 лет можно сформулировать заключение о том, что модификация структуры цементного теста на микро- и наноуровне суперпластификатором С-3 в количественной дозировке 1 и 0,5 % от массы цемента при одинаковом В/Ц отношении приводит к неоднозначному влиянию на параметры конструкционной прочности во времени.

Анализ численных значений структурных параметров трещиностойкости (вязкости разрушения) цементного камня в рассматриваемом диапазоне времени показывает, что модификация наноструктуры цементного камня СП С-3 в количестве 1 % от массы цемента приводит к снижению показателя трещиностойкости лишь в проектном возрасте цементного камня (28 суток), в более зрелом возрасте (420 суток и 18 лет) параметры структурной механики разрушения (коэффициент интенсивности напряжения, энергия разрушения и сила продвижения трещины) оказались более высокими у цементного камня с модифицированной наноструктурой. Энергетический показатель силы продвижения трещины, отражающий вязкость развития процесса разрушения

модифицированной наноструктуры цементного камня в возрасте 18 лет, оказался выше примерно на 53–86 % у образцов серий 2, 3, 4 относительно контрольного состава образцов серии 1.

Таким образом, информацию, полученную по параметру $\sum \mathcal{E}_{A\mathcal{E}}$, можно положить в основу идентификации процесса разрушения цементного композита под воздействием кратковременного силового нагружения с достаточно четкой идентификацией процесса, значения которого отражают влияние дозировки С-3 на формирование дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня и ее механическое поведение под нагрузкой, что позволяет использовать полученную информацию для улучшения понимания самого процесса разрушения и выявления параметров материала, определяющих вязкость его разрушения, и на этой основе осуществлять рациональную технологическую оптимизацию структуры и технологию получения цементных систем повышенной трещиностойкости.

Список литературы

1. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
2. Макридин, Н.И. Долговременная прочность модифицированной структуры цементного камня. Часть 2 / Н.И. Макридин, И.Н. Максимова, Ю.В. Овсюкова // Строительные материалы. – 2011. – № 7. – С. 72–75.
3. Мchedlov-Petrosyan, O.P. Химия неорганических строительных материалов / О.П. Мchedlov-Petrosyan. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Стройиздат, 1988. – 304 с.
4. Макридин, Н.И. Метод акустической эмиссии в строительном материаловедении / Н.И. Макридин, Е.В. Королев, И.Н. Максимова // Строительные материалы. – 2007. – № 3. – С. 26–29.
5. Сычев, М.М. Некоторые вопросы химии бетона и цементного камня / М.М. Сычев // Журнал прикладной химии АН СССР. – 1981. – Т. LIV. – №9. – С. 2036–2043.
6. Билби, Б. Разрушение / Б. Билби // Механика разрушения. Разрушение конструкций. – М.: Мир, 1980. – С. 203–28.
7. Фактор времени в формировании фазового состава структуры цементного камня / Н.И. Макридин, О.В. Тараканов, И.Н. Максимова, И.А. Суров // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 26–31.
8. Экспериментальное определение физико-механических свойств и параметров механики разрушения ультравысокопрочных бетонов / Н.И. Карпенко, Ю.В. Зайцев, Г.Э. Окольникова, А.А. Андрианов // Научные труды РААСН. Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2011 году. – М. – Орел. – 2011. – С. 242–248.
9. Структура, деформативность, прочность и критерии разрушения цементных композитов / Н.И. Макридин, И.Н. Максимова, А.П. Прошин, Ю.А. Соколова, В.И. Соломатов. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2001. – 280 с.

References

1. Batrakov, V.G. Modified concrete. Theory and practice / V.G. Batrakov. – 2 nd ed. – M.: Stroiizdat, 1998. – 768 p.
2. Makridin, N.I. Longterm strength of the modified structure of cement stone. Part 2 / N.I. Makridin, I.N. Maksimova, Yu.V. Ovsyukova // Building Materials. – 2011. – No. 7. – P. 72–75.
3. Mchedlov-Petrosyan, O.P. Chemistry of inorganic building materials / O.P. Mchedlov-Petrosyan. – 2-nd published., pererab. and add. – M.: Stroyizdat, 1988. – 304 p.
4. Makridin, N.I. Method of acoustic emission in building materials science / N.I. Makridin, E.V. Korolev, I.N. Maksimova // Building materials. – 2007. – No. 3. – P. 26–29.

5. Sychev, M.M. Some questions of chemistry of concrete and cement stone / M.M. Sychev / Journal of Applied Chemistry, USSR Academy of Sciences. – 1981. – T.LIV. – No. 9. – P. 2036–2043.

6. Bilby, B. Destruction / B. Bilby // Mechanics of destruction. Destruction of structures. – M.: Mir, 1980. – P. 203–228.

7. The time factor in the formation of the phase composition of the cement stone structure / N.I. Makridin O.V. Tarakanov, I.N. Maksimova, I.A. Surov // Regional architecture and engineering. – 2013. – No. 2. – P. 26–31.

8. Experimental determination of physicommechanical properties and parameters of the mechanics of destruction of ultrahigh-strength concretes / N.I. Karpenko, Yu.V. Zaitsev, G.E. Okolnikova, A.A. Andrianov // Scientific works of RAASN. Fundamental research of RAASN on scientific support of the development of architecture, town-planning and construction industry of the Russian Federation in 2011. – M. – Orel, 2011. – P. 242–248.

9. Structure, Deformability, Strength and Criteria of Destruction of Cement Composites / N.I. Makridin, I.N. Maksimova, A.P. Proshin, Yu.A. Sokolova, V.I. Solomatov. – Saratov: Saratov University Publishing House, 2001. – 280 p.

УДК 544.08:620.1

Институт природно-технических систем
Russia, 354024, г. Сочи,
Курортный проспект, 99/18,
тел. +7(862) 241-82-32.

Вапиров Юрий Михайлович,
кандидат технических наук,
заместитель директора по научной работе
E-mail: vapirov-jura@rambler.ru
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

Лаврентьева Ксения Геннадьевна,
студентка
E-mail: lavrenteva-ksenya@bk.ru

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

Всероссийский научно-исследовательский
институт авиационных материалов
Россия, 353466, г. Геленджик,
ул. Почтовая, д. 20,
тел.+7(86141) 2-84-30.

Старцев Олег Владимирович,
доктор технических наук, профессор,
заместитель начальника по научной работе
Геленджикского центра климатических
испытаний им. Г.А. Акимова
E-mail: startsevov@gmail.com

Institute of natural and technical systems
Russia, 354024, Sochi, 99/18,
Kurortny prospect,
tel. +7(862) 241-82-32.

Vapirov Yuri Mikhailovich,
Candidate of Science, Deputy Director for
scientific work
E-mail: vapirov-jura@rambler.ru
Ogarev Mordovia State University

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

Lavrenteva Ksenia Gennadievna,
student
E-mail: lavrenteva-ksenya@bk.ru

Yerofeev Vladimir Trofymovich,
Doctor of Sciences, Professor, corresponding
member of Russian Academy of Architecture
and Construction Sciences, Head of
department «Building materials and
technology»
E-mail al_rodin@mail.ru

All-Russian Research Institute of Aviation
Materials
Russia, 353466, Gelendzhik, 20,
St. Pochtovaya,
tel.+7(86141) 2-84-30.

Startsev Oleg Vladimirovich,
Doctor of Sciences, Professor, Deputy head
for scientific work of the Gelendzhik center of
climatic tests named after G. A. Akimov
E-mail: startsevov@gmail.com

МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДРЕВЕСИНЫ С ВОДОЙ

Ю.М. Вапиров, К.Г. Лаврентьева, О.В. Старцев, В.Т. Ерофеев

Приведены результаты анализа структурных изменений, происходящих в тонком поверхностном слое различных пород древесины при поглощении связанной воды. Показано, что в древесине хвойных и лиственных пород заложен более совершенный, по сравнению с искусственными полимерами, механизм взаимодействия со связанной водой при набухании, исключающий повреждение древесины путем поэтапного снижения внутренних напряжений преимущественно в радиальном и тангенциальном направлениях. Представленные результаты исследования взаимодействия клеточных стенок древесины с молекулами связанной воды позволили предположить, что в структуре древесины растущего дерева формируется двухэтапный механизм поддержки оптимального уровня влагонасыщения клеточных стенок путем ограничения содержания связанной воды в клеточных стенках древесины, как в живых, так и в неживых клетках различных пород деревьев.

Ключевые слова: древесина, предельное влагонасыщение, связанная вода, структура, моделирование

THE MECHANISM OF INTERACTION OF WATER WITH WOOD

Y.M. Vapirov, K.G. Lavrenteva, O.V. Startsev, V.T. Erofeev

The analysis of structural changes, taking place in a thin facial layer of various species of wood at bound water absorbing, has been carried out. It is showed that the mechanism of interaction of the wood of coniferous and broadleaved species with bound water when swelling is more perfect comparing with regenerated polymers. This mechanism excludes the damage of wood by means of incremental decrease of internal stresses mostly in radial and tangential direction. The results of the research of the interaction of cell walls of wood with molecules of bound water allow to assume that in the structure of wood of growing trees there is a two-stage mechanism of maintaining optimal level of water saturation of cell walls by means of the limitation of water content in cell walls of wood in living as well as in nonliving cells of various species of wood.

Keywords: wood, moisture-holding capacity, bound water, structure, modelling

Введение

Взаимодействие древесины с водой в значительной степени устанавливает закономерности физико-химических процессов, влияющих на эксплуатационные свойства древесины. Несмотря на многочисленные исследования, до настоящего времени не установлен механизм взаимодействия древесины с водой [1–4].

В работе [5] дано обоснование сорбционной способности компонентов древесины и моделирование взаимодействия «древесина – вода» с учетом размеров молекул и атомов. Рассмотрены причины набухания, связанные с влиянием воды. При сорбции паров воды изменяются температуры стеклования компонентов древесины, внутренние напряжения и ее физико-механические характеристики. Даны оценки содержания связанной воды, обусловленные химическим составом компонентов и количеством водородных связей. Обсуждены структурные изменения в древесине в процессе ее жизнедеятельности.

Ранее изучена сорбция влаги полимерными композиционными материалами (ПКМ) в различных климатических условиях путем определения концентрации влаги в тонком поверхностном слое (ТПС) полимерной матрицы композита и оценки ее изменения в зависимости от структурных преобразований в этом слое при старении [6, 7]. Использованы представления о том, что при взаимодействии полимера с влажной средой в ТПС полимерной матрицы внедряются молекулы воды, достигая равновесной концентрации, соответствующей влажностным параметрам окружающей среды [8]. Возникающая при этом разность концентраций влаги в ТПС и в объеме полимерного связующего вызывает движение молекул воды внутрь материала. Изменение уровня равновесной концентрации влаги в ТПС может быть вызвано изменением влажности среды и/или структурными преобразованиями в ТПС под воздействием внешних факторов. Для определения концентрации влаги в ТПС полимера был использован методический подход [6, 7], в основе которого заложены представления о том, что процесс накопления молекул воды в объеме полимера можно сравнить с процессами накопления электронов на обкладках конденсатора в составе электрической цепи, состоящей из стабилизированного источника питания (U_{in}), резистора (R) и конденсатора (C), соединенных последовательно (RC -цепь). Закон изменения напряжения на конденсаторе такой цепи во времени описывается экспонентой вида

$$U_c(t) = U_{in} (1 - e^{-t/RC}), \quad (1)$$

где U_c – напряжение на конденсаторе; RC – постоянная времени RC -цепи.

Показано, что влагопоглощение в ПКМ можно моделировать аналогично (1), если использовать формализм RC -цепи, по которому

$$M_{тек}(t) = M_{max} (1 - e^{-t/K}). \quad (2)$$

где $M_{тек}$ – показатель влагосодержания древесины в момент времени t (аналог напряжения на конденсаторе – U_c); M_{max} – максимальное количество влаги в ТПС древесины

(аналог напряжения стабилизированного источника питания U_{in}); K – показатель, характеризующий время влагопоглощения (аналог постоянной времени – RC -цепи).

Целью данной работы является экспериментальное исследование влагосодержания в древесине, моделирование кинетики сорбции экспоненциальным соотношением (2) и оценка структурных изменений в поверхностном слое различных пород древесины при влагопоглощении на основе механизма взаимодействия целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз с влагой, предложенного в [5].

Материалы и методы исследования

Для экспериментальных исследований взаимодействия древесины с водой и структурных изменений, вызванных ее влиянием, были выбраны различные породы древесины: сосна обыкновенная (хвойные породы); дуб черешчатый и ясень обыкновенный (лиственные кольцесосудистые породы); береза бородавчатая, осина обыкновенная и липа (лиственные рассеянно-сосудистые породы) [3, 9].

Из пластин древесины вырезались квадратные образцы со стороной 50 мм и толщиной 1,5–2 мм. Для оценки уровня исходного влагосодержания измерялась масса образцов. Затем образцы помещались в термощкаф с постоянной температурой $60 \pm 2^\circ\text{C}$, в котором происходило их высушивание до стабилизации массы. Высушенные образцы увлажняли в закрытых эксикаторах над поверхностью воды, в которых устанавливалась относительная влажность $98 \pm 2\%$. Стационарный процесс увлажнения происходил при температуре $60 \pm 2^\circ\text{C}$ с периодическим измерением массы и толщины образцов.

Результаты исследования и их обсуждение

Временные зависимости влагопоглощения $M(t)$ перечисленных выше пород древесины приведены на рис. 1–3. Приняты следующие обозначения: круглые маркеры – экспериментальные значения влагопоглощения ($M_{\text{эксп}}$); пунктирные линии – текущие расчетные значения уровня влагопоглощения ($M_{\text{тек}}$), по соотношению (2); сплошные линии – максимальные значения уровня концентрации влаги в ТПС (M_{max}), P_r – давление набухания древесины в радиальном направлении; P_t – давление набухания древесины в тангенциальном направлении.

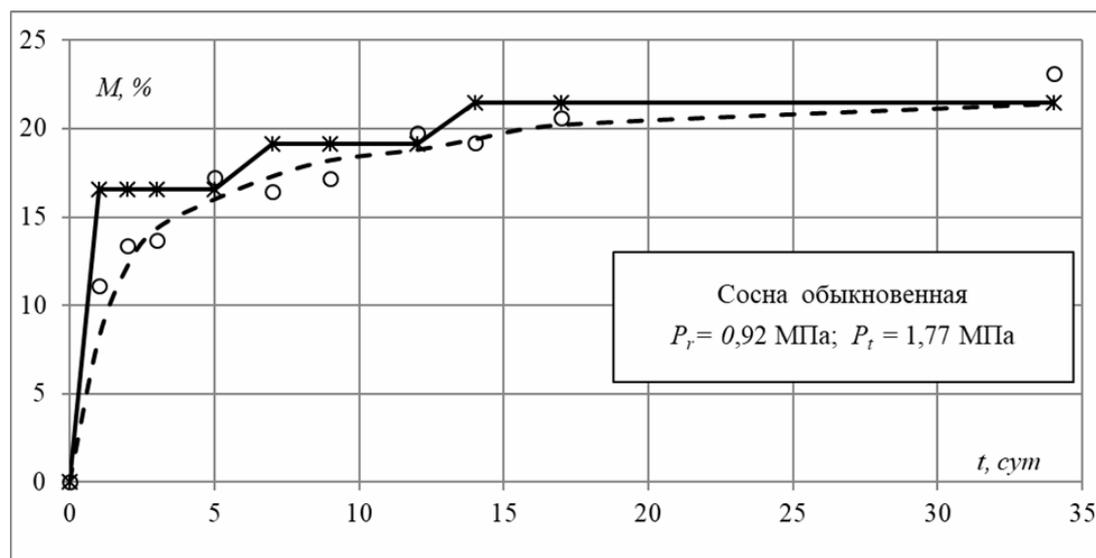


Рис. 1. Изменение показателей влагопоглощения ($M_{\text{эксп}}$, $M_{\text{тек}}$, M_{max}) образцов древесины хвойной породы в процессе выдержки в воздушной среде с относительной влажностью $98 \pm 2\%$ и температурой $60 \pm 2^\circ\text{C}$

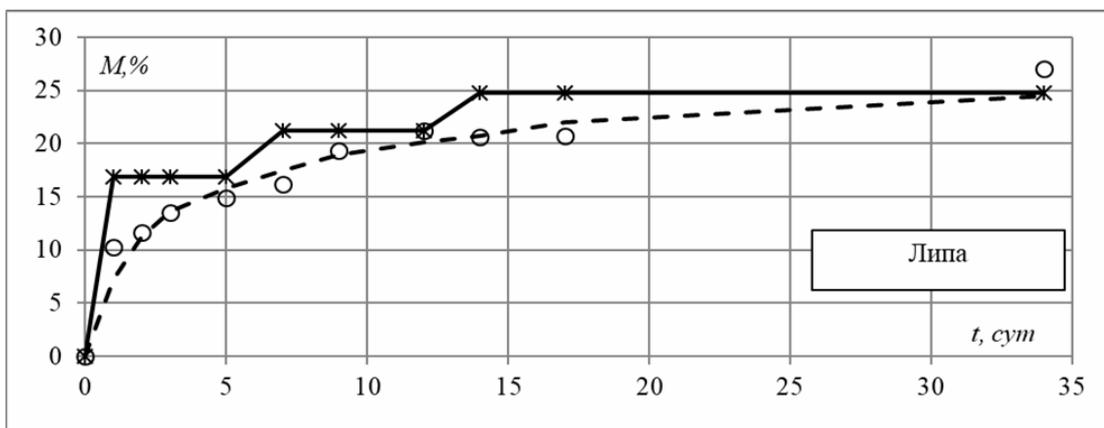
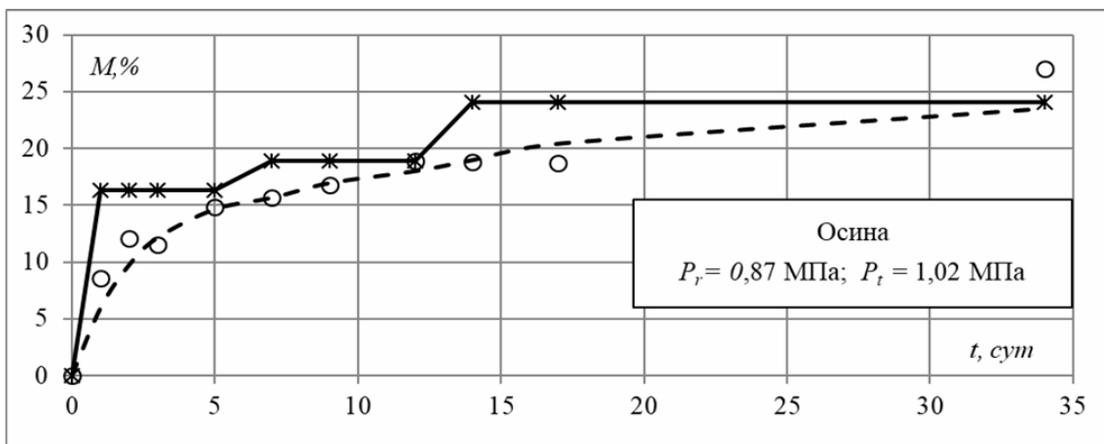
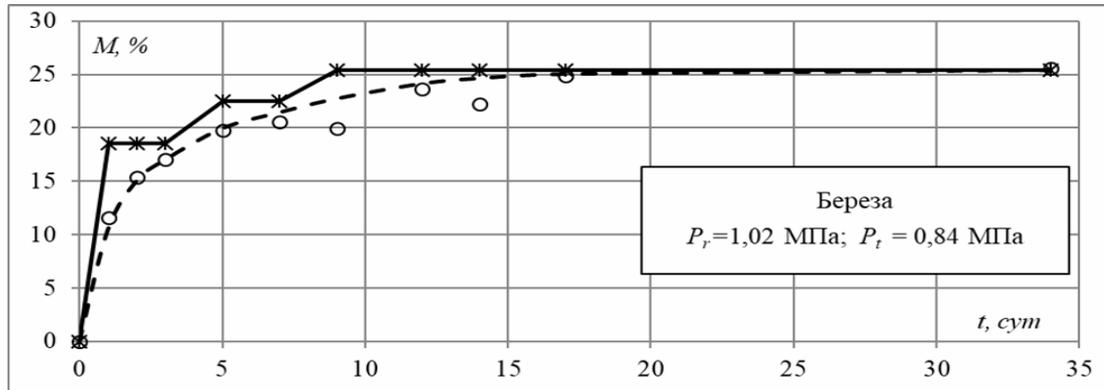


Рис. 2. Изменение показателей влагопоглощения ($M_{\text{эксп}}$, $M_{\text{тек}}$, $M_{\text{мах}}$) образцов древесины лиственной рассеянно-сосудистой породы в процессе выдержки в воздушной среде с относительной влажностью 98 ± 2 % и температурой 60 ± 2 °С

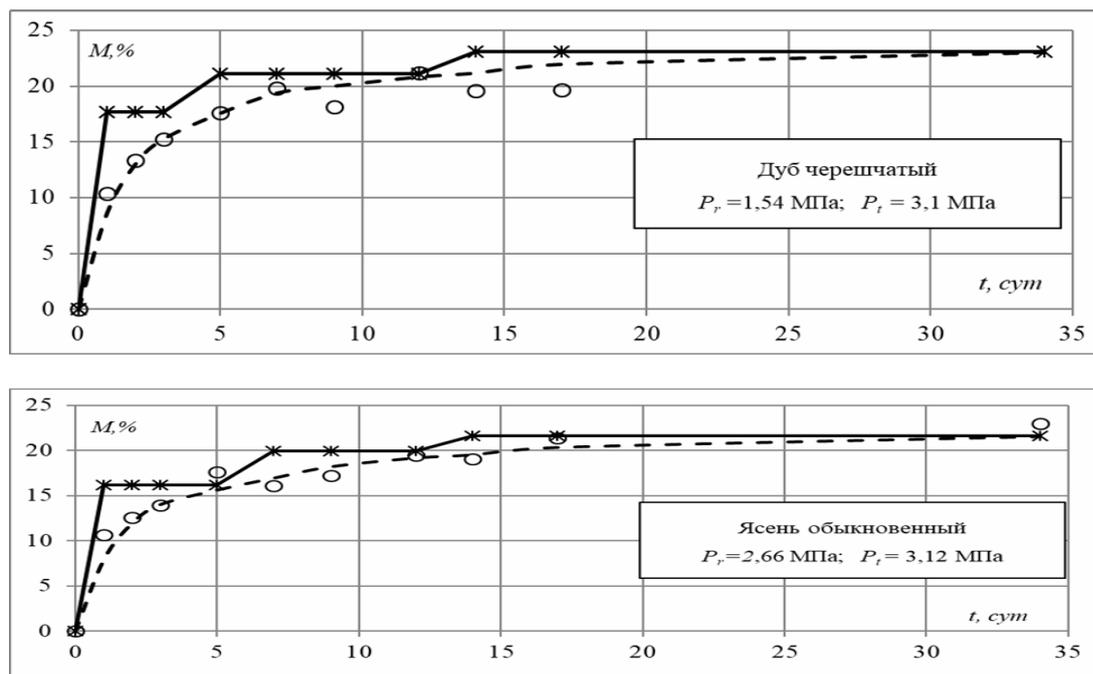


Рис. 3. Изменение показателей влагопоглощения ($M_{\text{эсп}}$, $M_{\text{тек}}$, $M_{\text{мах}}$) образцов древесины лиственной кольцесосудистой породы в процессе выдержки в воздушной среде с относительной влажностью 98 ± 2 % и температурой 60 ± 2 °С

Для всех пород древесины кинетика сорбции влаги удовлетворительно аппроксимируется соотношением (2).

Наименьшие среднеквадратичные отклонения экспериментальных и аппроксимированных значений $M_{\text{тек}}$ в образцах древесины всех пород достигаются при моделировании ступенчатого увеличения концентрации влаги $M_{\text{мах}}$ в ТПС. Аналогичный подход был использован при моделировании влагопоглощения в ПКМ [6, 7] в предположении структурных преобразований в ТПС, обусловленных разрушением напряженных полимерных цепей, которые препятствовали набуханию ТПС в полимерной матрице и адгезионном слое между матрицей и наполнителем.

Благодаря пластификации и структурной релаксации полимерных матриц под действием воды изменяются свойства композиционных материалов. Обычно это связано с необратимыми структурными перестройками на молекулярном и/или надмолекулярном уровнях (набухание, релаксация или рост внутренних напряжений, доотверждение, деструкция полимерных цепей, изменение уровня межмолекулярного взаимодействия) [10–15].

Например, прочность при растяжении образцов влагонасыщенного органопластика при $\varphi = 98$ % и $T=60$ °С сохранилась на уровне ~ 70 % из-за совместного влияния обратимых и необратимых структурных преобразований. После сушки влагонасыщенных образцов органопластика при 80 °С до стабилизации массы их прочность при растяжении сохранилась на уровне ~ 89 % из-за влияния только необратимых структурных преобразований [13]. Толщина образцов стеклопластиков, высушенных до стабилизации массы после влагонасыщения при $\varphi = 98$ % и $T=60$ °С, возросла на $1,5$ – $2,0$ % из-за необратимых структурных перестроек [10, 12].

Структурные преобразования, вызвавшие изменение показателей прочности и набухания древесины (природный полимер) при влагопоглощении, полностью или частично обратимы, то есть при набухании размеры образцов древесины увеличиваются, показатели прочности снижаются, но полностью или частично восстанавливаются после высушивания, если температура сушки не превышает 60 °С [2, 15]. Все описанные в настоящей работе образцы различных пород древесины после

набухания при $\varphi=98\pm 2\%$ и $T=60\pm 2^{\circ}\text{C}$ и сушки при $T=60\pm 2^{\circ}\text{C}$ восстановили свои размеры, подтверждая обратимость структурных преобразований, вызвавших набухание.

По аналогии с полимерными матрицами ПКМ можно предположить, что структурные преобразования в древесине, взаимодействующей с влагой, начинаются в ТПС.

Примем во внимание, что в стационарных термовлажностных условиях процесс влагопоглощения в образцах древесины подчиняется экспоненциальной зависимости (2). Представляет интерес оценка структуры ТПС: остается она неизменной или меняется. Критерием изменений структуры является изменение уровня M_{\max} . Рассмотрим возможные процессы при взаимодействии воды с древесиной с учетом сведений, полученных в [5].

После контакта образцов сухой древесины с влажной средой ($\varphi=98\pm 2\%$ и $T=60\pm 2^{\circ}\text{C}$) уровень концентрации влаги в ТПС (M_{\max}) достаточно быстро достигает максимума для этих условий и сохраняется неизменным в течение 3–5 суток (рис. 1–3). С увеличением продолжительности испытаний $M_{\text{тек}}$ монотонно повышается, а M_{\max} дважды резко увеличивается. Такие скачки M_{\max} при неизменности влажностных условий могут быть вызваны устранением препятствий, ограничивающих доступ молекул воды в ТПС. Причиной такого механизма могут быть обратимые или частично обратимые структурные преобразования, поэтому можно предположить, что при влагопоглощении в ТПС возникают внутренние напряжения, ограничивающие подвижность участков макромолекул лигноцеллюлозного комплекса. При релаксации этих напряжений облегчается доступ молекул воды и происходит блокирование водородных связей между активными центрами, благодаря чему облегчается молекулярная подвижность. При аппроксимации экспериментальных значений соотношением (2) определен ступенчатый механизм структурных изменений в ТПС (см. рис. 1–3).

В соответствии с положениями работы [5] при контакте сухих образцов древесины с влажным воздухом молекулы воды блокируют водородные связи компонентов клеточных стенок древесины, образуя влагонасыщенный ТПС. Внедрение молекул воды вызывает набухание (изменение линейных размеров) ТПС за счет увеличения расстояния между ОН-группами компонентов древесины [5]. В ТПС возникают внутренние напряжения, обусловленные ограничением набухания, что согласуется с общим принципом термодинамики, согласно которому всякое внешнее воздействие на равновесную систему, стремящееся нарушить равновесие, вызывает ее сопротивление такому воздействию [2]. Известно [2, 3], что наибольшие линейные деформации при влагопоглощении древесины происходят и в тангенциальном, и в радиальном направлениях. Можно ожидать, что в ТПС уровень внутренних напряжений в этих направлениях будет разным. Набуханию клеточных стенок в ТПС препятствуют межмолекулярные связи в более глубоких слоях клеточных стенок. Препятствия снижаются при прохождении молекул воды в более глубокие слои.

Концентрация влаги в ТПС является источником молекул воды при влагопоглощении древесины (аналог стабилизированного источника питания RC-цепи). Если с течением времени концентрация влаги в ТПС не меняется, что возможно при неизменности структуры ТПС и влажности окружающей среды, то перемещение молекул воды вглубь прекратится при выравнивании концентрации связанной воды по всему объему древесины, т.е. при $M_{\text{тек}} = M_{\max}$.

Например, на рис. 1 показано, что с момента контакта образцов сосны с влажной средой уровень концентрации влаги в ТПС устанавливается равным $M_{\max} = 16,6\%$, а $M_{\text{тек}}$ практически достигает этого уровня в течение 5 суток. После 5 суток влагопоглощения ($M_{\text{тек}} \approx M_{\max}$) концентрация влаги в ТПС увеличилась до уровня $M_{\max} = 19,2\%$, свидетельствуя о релаксации внутренних напряжений и снятии ограничений, которые препятствовали внедрению молекул воды в ТПС. Аналогичный процесс вызвал быстрое увеличение концентрации влаги в ТПС до уровня $M_{\max} = 21,5\%$ после 12 суток влагопоглощения. Следует отметить, что если давление набухания в радиальном и тангенциальном направлениях качественно характеризует уровень внутренних напряжений в этих направлениях, то релаксация внутренних напряжений в первую очередь произойдет в направлении с меньшим уровнем внутренних напряже-

ний. Давление набухания сосны обыкновенной при влагопоглощении в радиальном направлении равно $P_r=0,92$ МПа, а в тангенциальном – $P_t=1,77$ МПа. Поэтому можно предположить, что после 5 суток влагопоглощения произошла релаксация внутренних напряжений в радиальном направлении, а после 12 суток – в тангенциальном (см. рис. 1). Аналогичная закономерность релаксации внутренних напряжений наблюдается при влагопоглощении образцов осины (см. рис. 2), дуба и ясеня (см. рис. 3). При влагопоглощении образцов березы релаксация внутренних напряжений происходит сначала в тангенциальном, а затем в радиальном направлении (см. рис. 2).

Представленные результаты исследования взаимодействия клеточных стенок древесины с молекулами воды позволяют предположить, что в клеточных стенках древесины формируется двухэтапный процесс ограничения содержания связанной воды.

Заключение

1. Сорбция влаги в образцы древесины различных пород моделируется соотношением экспоненциального типа (2).

2. При влагонасыщении лигноцеллюлозного комплекса древесины наблюдается двухэтапный процесс ограничения связанной воды.

Список литературы

1. Колосовская, Е.А. Физические основы взаимодействия древесины с водой / Е.А. Колосовская, С.Р. Лоскутов, Б.С. Чудинов. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1989. – 216 с.

2. Чудинов, Б.С. Вода в древесине / Б.С. Чудинов. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1984. – 270 с.

3. Боровиков, А.М. Справочник по древесине / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 296 с.

4. Уголев, Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение / Б.Н. Уголев. – М.: Академия, 2006. – 270 с.

5. Врублевская, В.И. Обоснование механизма взаимодействия компонентов древесины с влагой / В.И. Врублевская, В.О. Матусевич, В.В. Кузнецова // Лесной журнал. – 2017. – № 3. – С. 152–163.

6. Способ определения и прогнозирования влагопоглощения полимерными композиционными материалами при старении / Ю.М. Вапиров, В.И. Голован, А.С. Дзюба, К.А. Колесник, В.Н. Щербаков // Ученые записки ЦАГИ. – 2016. – Т. 47, № 7.

7. Особенности влагопоглощения полимерными композиционными материалами при климатическом старении в натуральных и лабораторных условиях / Ю.М. Вапиров, К.А. Колесник, Е.А. Рыбак, Т.В. Шахина, В.Н. Щербаков // Коррозия, старение и биостойкость материалов в морском климате: сб. докладов II международной научно-технической конференции, посвященной 115-летию со дня рождения профессора, д.т.н. Г.В. Акимова. – ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, 2016. – С. 3.

8. Кутьинов, В.Ф. Методика ускоренного экспериментального определения коэффициента диффузии и равновесной концентрации влаги композиционных материалов / В.Ф. Кутьинов, В.Н. Шевалдин // Ученые записки ЦАГИ. – 2001. – Т. 32, № 1–2. – С. 141–150.

9. Влияние климатического старения на показатели влагопереноса древесины с защитными покрытиями / О.В. Старцев, М.В. Молоков, В.Т. Ерофеев, А.С. Кротов, С.С. Гудожников // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 3, Ч. 3. – С. 526–532.

10. Effect of moisture on the anisotropy of the dynamic shear modulus of glass-reinforced plastics / D.V. Filistovich, O.V. Startsev, A.A. Kuznetsov, A.S. Krotov, L.I. Anikhovskaya, L.A. Dementeva // Doklady Physics. – 2003. – Т. 48, № 6. – С. 306–308.

11. Структурные изменения в пластифицированном сетчатом аморфном полимере / О.В. Старцев, И.И. Перепечко, Л.Т. Старцева, Г.П. Машинская // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. – 1983. – Т. 25., № 6. – С. 457–461.

12. Moisture diffusion in glass-fiber-reinforced plastics after their climatic ageing / L.T. Startseva, S.V. Panin, O.V. Startsev, A.S. Krotov // *Doklady Physical Chemistry*. – 2014. – Т. 456, № 1. – P. 77–81.
13. Старцев, О.В. Молекулярная подвижность и релаксационные процессы в эпоксидной матрице композита. 2. Эффекты старения во влажном субтропическом климате / О.В. Старцев, Г.П. Машинская, В.А. Ярцев // *Механика композитных материалов*. – 1984. – № 4. – С. 593–597.
14. Vapirov, Y.M. Interpretation of anomalous changes of KМУ-1u carbon plastic properties under ageing in different climatic regions / Y.M. Vapirov, V.V. Krivonos, O.V. Startsev // *Mechanics of Composite Materials*. – 1994. – Т. 30, № 2. – P. 190–194.
15. Вапиров, Ю.М. Особенности влияния внешних факторов на свойства ПКМ при ускоренных и натуральных климатических испытаниях / Ю.М. Вапиров, В.Н. Кириллов, В.А. Ефимов // *Сборник докладов VII научной конференции по гидроавиации «Гидроавиаслон – 2008»*. Ч.II. – М.: ЦАГИ. 2008. – С. 327–335.

References

1. Kolosovskaya E.A., Loskutov S.R., Chudinov B.S. Physical basic concepts of the interaction of wood with water / . – Novosibirsk: Science. Siberian division. 1989. – 216 p.
2. Chudinov, B.S. Water in wood / B.S. Chudinov. – Novosibirsk: Science. Siberian division, 1984. – 270 p.
3. Borovikov, A.M. Reference book of wood / A.M. Borovikov, B.N. Ugolev. – М.: Wood industry, 1989. – 296 p.
4. Ugolev, B.N. Wood science and wood merchandizing / B.N. Ugolev. – М.: Academia, 2006. – 270 p.
5. Vrublevskaya, V.I. Validation of the mechanism of interaction of wood components with moisture / V.I. Vrublevskaya, V.O. Matusevich, V.V. Kuznetsova // *Forest magazine*. – 2017. – №3. – P. 152–163.
6. The method of defining and forecasting of water sorption by polymeric composite materials when ageing / Y.M. Vapirov, V.I. Golovan, A.S. Dzyuba, K.A. Kolesnik, V.N. Shcherbakov // *Scientific notes of Central Institute of Aerohydrodynamics*. – 2016. – Vol. 47, №7.
7. Peculiarities of water sorption by polymeric composite materials when climate ageing in natural and laboratory conditions / Y.M. Vapirov, K.A. Kolesnik, E.A. Ribak, T.V. Shakhina, V.N. Shcherbakov // In collected volume: Corrosion, ageing and biostability of materials in maritime climate. Book of reports of II international scientific and technological conference, devoted to 115th anniversary from the birthday of professor, doctor of technical sciences G.V. Akimov. – Federal state unitary enterprise “All-RUSSIAN INSTITUTE OF AVIATION MATERIALS” State Scientific Center of the Russian Federation, 2016. – P. 3.
8. Kutysinov, B.F. Methodology of accelerated experimental defining of diffusivity coefficient and equilibrium moisture concentration of composite materials / B.F. Kutysinov, V.N. Shevaldin // *Scientific notes of Central Institute of Aerohydrodynamics*. – 2001. – Vol. 32, № 1-2. – P. 141–150.
9. The influence of climate ageing to the factors of moisture transfer of wood with protective coverings / O.V. Startsev, M.V. Molokov, V.T. Erofeev, A.S. Krotov, S.S. Gudzhnikov // *Fundamental researches*. – 2016. – №3, Part 3. – P. 526–532.
10. Effect of moisture on the anisotropy of the dynamic shear modulus of glass-reinforced plastics / D.V. Filistovich, O.V. Startsev, A.A. Kuznetsov, A.S. Krotov, L.L. Anikhovskaya, L.A. Dementeva // *Doklady Physics*. – 2003. – Т. 48, № 6. – С. 306–308.
11. Structural changes in plasticized reticulate amorphous polymer / O.V. Startsev, I.I. Perepechko, L.T. Startseva, G.P. Mashinskaya // *High-molecular compositions. B series*. – 1983. – Vol. 25, № 6. – P. 457–461.

12. Moisture diffusion in glass-fiber-reinforced plastics after their climatic ageing / L.T. Startseva, S.V. Panin, O.V. Startsev, A.S. Krotov // Doklady Physical Chemistry. – 2014. – Т. 456, № 1. – P. 77–81.

13. Startsev, O.V. Molecular mobility and relaxation processes in epoxy matrix of Composite material. 2. Effects of ageing in humid temperate climate / O.V. Startsev, G.P. Mashinskaya, V.A. Yartsev // Mechanics of Composite materials. – 1984. – №4. – P. 593–597.

14. Vapirov, Y.M. Interpretation of anomalous changes of KMU-1u carbon plastic properties under ageing in different climatic regions / Y.M. Vapirov, V.V. Krivonos, O.V. Startsev // Mechanics of Composite Materials. – 1994. – Т. 30, № 2. – P. 190–194.

15. Vapirov, Y.M. Peculiarities of the influence of external factors to the qualities of polymer composite materials in conditions of accelerated and natural climate tests. / Y.M. Vapirov, V.N. Kirillov, V.A. Efimov // Book of reports of VII scientific hydroaviation conference “Hydroaviaslon – 2008”. Part II. – M.: Central Institute of Aerohydrodynamics, 2008. – P. 327–335.

УДК 691.-4

Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород,
ул. Костюкова, д. 46

Толстой Александр Дмитриевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительное
материаловедение, изделия и конструкции»
E-mail: tad56@mail.ru

Лесовик Валерий Станиславович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Строительное
материаловедение, изделия и конструкции»
E-mail: naukavs@mail.ru

Крымова Анастасия Игоревна,
магистрант
E-mail: krymova.a@mail.ru

Belgorod State Technological University,
named after V.G. Shukhov

Russia, 308012, Belgorod, 46, Kostyukov St.

Tolstoy Alexander Dmitrievich,
Candidate of Sciences, Assistant Professor
of the department «Building materials,
products and designs»
E-mail: tad56@mail.ru

Lesovik Valery Stanislavovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Building materials, products and
designs»
E-mail: naukavs@mail.ru

Krymova Anastasia Igorevna,
Undergraduate
E-mail: krymova.a@mail.ru

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ САМООРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ В ТЕОРИИ ТВЕРДЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

А.Д. Толстой, В.С. Лесовик, А.И. Крымова

На основе исследования твердеющих высокопрочных композиций показана взаимосвязь между возможностями синергетической схемы изучения явлений природы и вопросами управления формированием структуры каменных материалов, полученных из рационально подобранных строительных смесей.

Рассмотрены перспективы применения общих принципов синергетики и концепции устойчивого развития открытых диссипативных систем к материальным объектам производственного происхождения и их понимания как целостной саморегулируемой неравновесной системы. Главной целью было показать, что принципы развития саморегулирующейся системы можно применять в технологии строительных материалов.

Ключевые слова: строительное производство, твердеющие системы, синергетический подход, соотношение производственных и природных потенциалов, сбалансированность неравновесных систем

SYNERGETIC PRINCIPLES OF SELF-ORGANIZATION SYSTEMS IN THE HARDENING THEORY OF MULTICOMPONENT POWDER COMPOSITIONS

A.D. Tolstoy, V.S. Lesovik, A.I. Krymova

On the basis of research of hardening high-strength compositions the interrelation between opportunities of synergetic scheme of studying the phenomena of the nature and questions of management of formation the structure of stone materials received from rationally got construction mixes is shown.

The prospects of applying general principles of synergetics and the concept of sustainable development of open dissipative systems to the material objects of industrial origin, and their understanding as an integral self-regulating non-equilibrium system are considered. The main goal is to show that the principles of self-regulating system development can be used in the technology of building materials.

Keywords: building production, hardening systems, synergetic approach, correlation of production and natural potentials, balance of nonequilibrium systems

Главной задачей правильного и планомерного роста строительного комплекса является проработывание путей синтеза производства с происходящими в нашей стране изменениями. Благополучное решение этой проблемы приведет к значительному росту производства и социально-экономической стабильности. Воплощение в жизнь концепции постоянного роста направления строительства в нашей стране подразумевает под собой переход к практическому решению производственных задач с сохранением благоприятной окружающей среды, способствующей улучшению качества жизни [1, 2]. Набирают все большую популярность научные исследования, направленные на создание технологий, которые находились бы в совершенной гармонии с потребностями современного строительства. Актуализация научных работ неразрывно связана с приложением новых идей и инновационных подходов к теории и практике современного материаловедения в плане объяснения процессов и явлений, происходящих при изменениях структуры и свойств материалов, а также фазовых переходах.

В ходе исследований была выявлена цель – доказать возможность и правомерность применения принципов и аппарата науки синергетики к изъяснению процессов структурообразования при твердении искусственного камня на основе рационально подобранной многокомпонентной смеси.

Вероятность объяснения сложных процессов, происходящих при твердении и наборе прочности многокомпонентных порошковых композиций, заложена в принципах и положениях науки синергетики. Термин «синергетика» ввел проф. Института теоретической физики (г. Штутгарт, Германия) Г. Хакен в 1977 г. [3]. Синергетика как междисциплинарное научное направление, занимающееся изучением процессов изменения вещественного состава и структуры на основе принципов самоорганизации системы, получило развитие в работах И. Пригожина, И. Забуского, Е.Н. Князевой, С.П. Курдюмова, В.С. Иванова и др. [4–8]. Она выступает здесь в роли метанауки, выявляющей и развивающей общий характер тех закономерностей и зависимостей, которые отдельные науки считают «своими». Синергетический метод приобрел статус общенаучного метода исследования и широко используется в современной науке. Многие ученые отмечают, что синергетика является парадигмой современной, постклассической науки. Ее категориальный аппарат (бифуркация, флуктуация, диссипативная структура, синергетический эффект и др.) позволяет измерить открытые, неравновесные, сложноорганизованные системы любой природы и составить анализ их изменения.

Данный подход к изучению материаловедческих проблем еще не получил достаточной разработки в научной литературе. Основными предпосылками к принятию решения о применении синергетического метода стали:

1. Основной постулат синергетики – область приложения синергетических принципов не имеет под собой четких границ и не может быть ограничена, так как ее интересы имеют свое влияние на все отрасли естествознания.

2. Соответствие многокомпонентных твердеющих систем основным понятиям и методологическим аспектам синергетики – это сложные, неравновесные, эволюционирующие системы, в которых неподвластно каким-либо законам появляются новые микроскопические (локальные) новообразования и возникают абсолютно новые свойства системы.

3. Система твердеющей смеси является открытой, далекой от точки термодинамического равновесия, в которой реализуется главный принцип самоорганизации – образование через этап хаоса нового порядка и новой структуры благодаря содержанию большого количества взаимодействующих между собой элементов.

4. Твердеющая система является взаимообменной по таким параметрам, как энергия и вещество. Все это контактирует с внешней средой, за счет чего достигаются упорядоченность и самоорганизация.

5. К твердеющей системе применим фундаментальный механизм синергетики – бифуркационный механизм, в котором точкой бифуркации – наиболее чувствительным состоянием к незначительным «возмущениям», «нарушениям» (флуктуациям) – можно считать момент затворения смеси водой, после чего происходит «выбор»

системой наиболее оптимального пути развития, т.е. твердения, набора прочности и превращения в камневидное тело или, иначе говоря, переход к новому аттрактору (рис. 1).

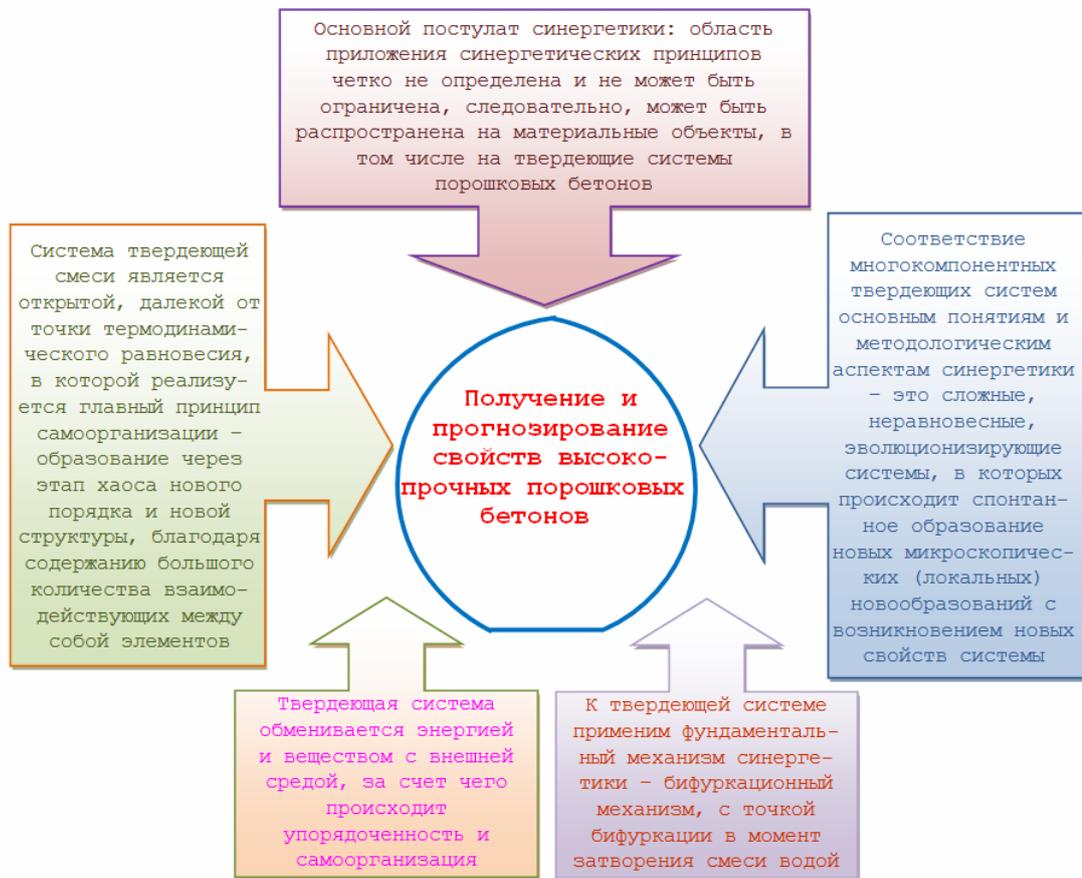


Рис. 1. Согласование принципов синергетики в строительном материаловедении

Школа Пригожина [4] неравновеснрзвивает термодинамический однозначное подход к самоорганизации. или Основное понятие докт синергетики Хакена (понятие структуры как отмечают состояния, возникающего в результате когерентного (согласованного) поведения большого числа частиц) бельгийская школа заменяет более специальным понятием диссипативной структуры. В открытых системах, обменивающихся с окружающей термодинамическим средой потоками вещества или энергии, однородное состояние равновесия может терять устойчивость и необратимо перетекать в неоднородное стационарное состояние, имеющее свое устойчивое положение, только относительно малых возмущений.

Определяющим в поведении термодинамической системы как совокупности большого числа взаимодействующих между собой структурных частиц (атомов, молекул и др.) являются статистические закономерности, позволяющие характеризовать ее состояние небольшим числом параметров. Термодинамические системы могут связываться между собой и с окружающей средой, обмениваясь энергией и/или веществом. В зависимости от характера взаимодействия с окружающей средой в термодинамике рассматривают несколько различных типов систем. Система, лишенная возможности обмениваться с окружающей средой энергией и веществом, называется изолированной. Система, которая обменивается с окружением только энергией, называется закрытой. И, наконец, открытой системой называется система, обменивающаяся с окружающей средой и энергией, и веществом.

По своей структуре анализировали термодинамические системы можно разделить на гомогенные и гетерогенные. Гомогенными называются системы, свойства которых

изменяются пространственно непрерывно. В частном случае однородных гомогенных систем свойства любых составляющих их частей одинаковы. Гетерогенная система состоит из нескольких однородных или гомогенных частей, имеющих свои индивидуальные свойства. Таким образом, свойства гетерогенной системы изменяются скачкообразно при переходе из одной ее гомогенной части в другую. Гомогенная часть гетерогенной системы, отделенная от других частей поверхностью раздела, называется фазой. Примером гетерогенной системы являются системы, состоящие из сосуществующих фаз одного или нескольких индивидуальных веществ. Термодинамический подход предполагает, что состояние термодинамической системы определяется путем задания ряда макроскопических параметров (объем, давление, концентрация и т.д.), а также параметрами состояния, которые характеризуют систему в целом (внутренняя энергия, энтальпия, энтропия и свободная энергия – энергия Гиббса). Благодаря этому термодинамический подход обладает большой общностью и может применяться к самым различным системам – физическим, химическим, биологическим и т.д.

Термодинамическая система, как и любая другая физическая система, обладает энергией, которая является суммой таких показателей, как энергия огромного числа составляющих ее частиц (атомов, молекул и т.д.), непрерывно движущихся и взаимодействующих между собой, а также с окружающими систему телами или физическими полями, которые создаются окружением. Энергия системы за вычетом ее внешней составляющей, т.е. кинетической энергии системы как целого и потенциальной энергии системы в поле внешних сил, называется внутренней энергией системы. Для термодинамических систем внутренняя энергия является экстенсивным параметром. Системы, внутренняя энергия которых нелинейно зависит от числа составляющих ее частиц, не могут описываться термодинамическими методами [9].

Грани применения термодинамического метода определяют так называемые постулаты термодинамики. Первый постулат термодинамики – постулат о термодинамическом равновесии – гласит, что всякая изолированная макроскопическая система с течением времени сама доходит до состояния термодинамического равновесия и никогда самопроизвольно выйти из него не может. Самопроизвольный и необратимый переход изолированной системы в состояние термодинамического равновесия является наиболее общим фундаментальным свойством всех макроскопических объектов. Существует большое число сменяющих друг друга в процессе динамической эволюции макросистемы состояний, среди которых, наряду с микросостояниями, отвечающими термодинамическому равновесию, также много микросостояний, соответствующих различным термодинамически неравновесным макросостояниям. Таким образом, термодинамика описывает только равновесные состояния и их свойства, а также некоторые закономерности приближения к равновесию. Второй постулат термодинамики – постулат о температуре – утверждает, что всякая макроскопическая система, находящаяся в состоянии термодинамического равновесия, характеризуется специальным интенсивным термодинамическим параметром – температурой, которая является единой для всех частей системы и вместе с другими макроскопическими параметрами однозначно определяет ее состояние. Таким образом, равенство температур двух или нескольких систем является важным и, даже можно сказать, необходимым условием их термодинамического равновесия между собой.

Из постулатов о равновесии и температуре следует вывод о том, что в состоянии термодинамического равновесия внутренние параметры системы, в том числе внутренняя энергия системы, являются функциями внешних параметров и температуры. Согласно третьему постулату термодинамики, температура равновесной системы показывает увеличение своих параметров при увеличении ее внутренней энергии, например, при передаче энергии от окружающих тел. Свойство транзитивности равновесного состояния позволяет сравнивать температуру различных равновесных систем, приводя их в тепловой контакт с эталонным телом, которое служит термометром.

Рассмотрим, как пример, систему уравнений химической кинетики, описывающую редкую ситуацию: досконально известный механизм m -стадийной реакции (m – число

элементарных актов), в которой принимает участие n веществ. Алгоритм выписывания динамической системы по схеме реакции однозначно определен.

Направление протекания той или иной реакции можно предсказать расчетным способом через величину свободной энергии (энергии Гиббса).

Энергия Гиббса (изобарно-изотермический потенциал, свободная энтальпия) – функция состояния системы (G), определяемая из выражения

$$G = H - TS \text{ [Дж или Дж/моль]},$$

где H – энтальпия (теплосодержание), Дж/моль; T – абсолютная температура, К; S – энтропия, Дж/моль.

Этот метод имеет однозначное правило: все самопроизвольно протекающие процессы сопровождаются уменьшением энергии Гиббса до достижения ею минимума, которому отвечает состояние равновесия системы (рис. 2).

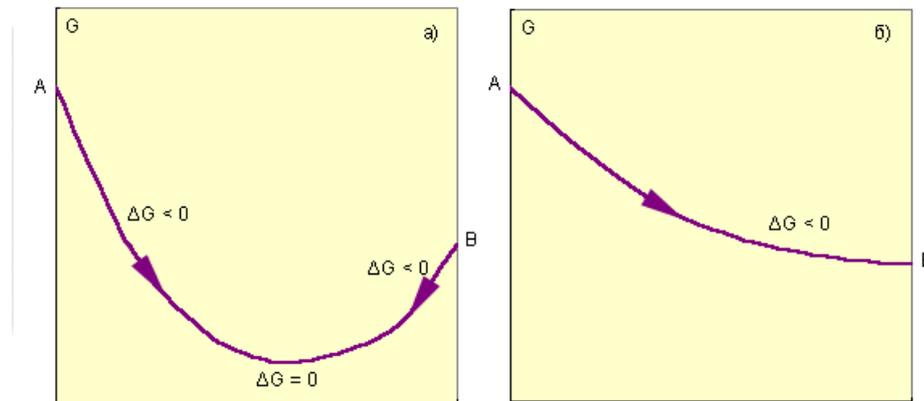


Рис. 2. Изменение энергии Гиббса:

а – обратимый процесс; б – необратимый процесс

В расчетах широко используется именно этот параметр состояния, т.к. убыль энергии Гиббса в равновесном процессе (при постоянном давлении и температуре) равна максимальной полезной работе [10].

При термодинамическом анализе $\text{CaO}-\text{C}_3\text{A}(\text{C}_3\text{F})-\text{Ox}-\text{H}_2\text{O}$ в нормальных условиях в качестве продуктов реакции рассмотрено образование гидроалюминатов, гидроферритов и гидросульфалюминатов кальция, портландита, аморфных гидроксидов алюминия и железа и гипса (см. таблицу).

Изменение энергии Гиббса и объемов продуктов реакции гидратообразования в твердеющих системах

№ п/п	Уравнение реакции	ΔV твердой фазы		ΔV конденсир. фазы		$-G_{298}^0$ реакции, кДж/моль
		$\frac{\text{см}^3}{\text{моль}}$	%	$\frac{\text{см}^3}{\text{моль}}$	%	
1	$\text{C}_3\text{A}+3\text{CsH}_2+26\text{H}_2\text{O}=\text{C}_3\text{ACs}_3\text{H}_{32}$	311,83	128,72	-67,13	8,60	235,94
2	$\text{C}_3\text{F}+\text{Ca}(\text{OH})_2+3\text{CsH}_2+25\text{H}_2\text{O}=\text{C}_3\text{FCs}_3\text{H}_{32}$	398,59	123,46	-51,91	6,71	107,07
3	$\text{CsH}_{0,5}+1,5\text{H}_2\text{O}=\text{CsH}_2$	21,43	40,60	-5,60	7,02	4,60
4	$\text{CaO}+\text{H}_2\text{O}=\text{Ca}(\text{OH})_2$	15,23	90,82	-2,68	7,68	55,90

Термодинамическую устойчивость гидроалюминатов и гидросульфалюминатов кальция при повышенных температурах анализировали по рассчитанным значениям энергии Гиббса реакций. Полученные результаты показывают, что до температуры 348,15 К термодинамически более устойчивыми продуктами реакции являются ассоциации трисульфогидроалюмината кальция с гипсом (см. таблицу, реакции 1,2).

При температуре выше 348,15 К абсолютное значение энергии Гиббса данной реакции уменьшается, что свидетельствует о неустойчивом состоянии $C_3FC_3H_{32}$ в этих условиях с его переходом в моноссульфогидроферрит кальция и образованием двух молекул двуводного гипса (см. таблицу, реакция 3).

Таким образом, проведенные расчеты свидетельствуют о термодинамической предпочтительности образования при нормальной температуре ассоциаций алюминий- и железосодержащего трехсульфатного гидрата кальция и преобразования Аt-фаз в моноссульфоалюминат кальция при повышенных температурах. Полученные результаты дают основание считать, что процессом взаимодействия в твердеющей многокомпонентной системе с цементом можно управлять, изменяя окислительный потенциал системы.

Вывод. При использовании синергетического метода в процессе гидратации и применения термодинамического метода существует возможность управления структурообразованием твердеющих систем и возникает возможность для объяснения направления его протекания. Определили показатели полноты процессов в неравновесной системе с фиксацией нового состояния – переход к новому аттрактору. Данные определения согласуются с положениями синергетики и действительно объясняют механизм процесса гидратации. Объектом последующих экспериментов является выявление роли каждого компонента многокомпонентной высокопрочной твердеющей системы на основе значений их термодинамических параметров с учетом синергетических представлений.

Список литературы

1. Василенко, В.Н. Устойчивая Россия: ноосферная концепция управления природопользованием государства: индикаторы, институты, инструменты, механизмы / В.Н. Василенко. – Волгоград: ВолГУ, 2003. – 390 с.
2. Лесовик, В.С. Геоника: предмет и задачи / В.С. Лесовик. – Белгород: БГТУ, 2012. – 232 с.
3. Хакен, Г. Синергетика: пер. с англ. / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980. – 406 с.
4. Пригожин, И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: пер. с англ. / И. Пригожин, И. Стенгерс; под общ. ред. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича, Ю.В. Сачкова. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
5. Innovative materials and techniques in concrete construction // ACES Workshop. M.N. Fardis (Ed.). Springer Science+Business Media. – 2012. – 379 p.
6. Князева, Е.Н. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. – М.: Наука, 1994. – 236 с.
7. Толстой, А.Д. Сульфатостойкость бетона с пиритосодержащим заполнителем, определяемая ускоренным методом: дис. ... канд. техн. наук / А.Д. Толстой. – Белгород, 1987. – 178 с.
8. Zabusky, I. Nonlinear partial differential equations / I. Zabusky. – N. Y.: Acad. press, 1967. – 223 с.
9. Бабушкин, В.И. Термодинамика реакций образования двуводного гипса и гидросульфатоалюмината кальция / В.И. Бабушкин // Журнал прикладной химии. – 1973. – Т. 46, вып. 2. – С. 246–251.
10. Чернавский, Д.С. Синергетика и информация / Д.С. Чернавский. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.

References

1. Vasilenko, V.N. Sustainable Russia: the concept of a noospheric environmental management of the state: indicators, institutions, and instruments / V.N. Vasilenko. – Volgograd: VolGY. 2003. – 390 p.
2. Lesovic, V.S. Geonickname: Subject and tasks / V.S. Lesovic. – Belgorod: BG TU. 2012. – 232 p.

3. Haken, H. Synergetics / H. Haken.– M.: Mir, 1980. – 406 p.
4. Prigojin, I. Order out of chaos: new dialogue between man and nature / I. Prigojin, I. Stengers. – M.: Progress. 1986. – 432 p.
5. Innovative materials and techniques in concrete construction // ACES Workshop. M.N. Fardis (Ed.). Springer Science+Business Media. – 2012. – 379 p.
6. Knyazeva, E.N. Laws of evolution and self-organization of complex systems / E.N. Knyazeva, S.P. Kyrđymov.– M.: Nayka, 1994. – 236 p.
7. Tolstoy, A.D. Sulfacetamide concrete with pyrite-containing filler determined by the accelerated method. The dissertation on competition of a scientific degree / A.D. Tolstoy. – Belgorod, 1987. – 178 p.
8. Zabusky, I. Nonlinear partial differential equations / I. Zabusky. – N. Y.: Acad. press, 1967. – 223 c.
9. Babushkin, V.I. Thermodynamics of reactions education zavodnaja gypsum and hydrocortamate calcium in hardened concrete / V.I. Babushkin // Journal of applied chemistry. – 1973. – Vol. 46, No 2. – P. 246–251.
10. Chernavski, D.S. Synergetics and information / D.S. Chernavski. – M.: Editorial YRCC, 2004. – 288 p.

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

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ КОМПОЗИТОВ КАК СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Указываются методы построения концептуальных моделей сложных систем, в том числе с использованием конвергентных технологий (отраслевые, межотраслевые, Сатурн-технология, NBIC, системы с искусственным интеллектом). Приводятся анализ состояния и перспективы их развития для синтеза различных динамических сложных систем. Дается пример составления концептуальной модели композиционного материала.

Ключевые слова: сложные системы, концептуальные модели, методы построения, композиционные материалы, когнитивная карта

CONCEPTUAL MODELS OF COMPOSITES AS COMPLEX SYSTEMS: STATUS AND PROSPECTS

A.M. Danilov, I.A. Garkina

Methods for constructing conceptual models of complex systems, including using convergent technologies (sectoral, interbranch, Saturn-technology, NBIC, systems with artificial intelligence) are indicated. The analysis of the state and prospects of their development for the synthesis of various dynamic complex systems is given. An example of composing a conceptual model of a composite material is given.

Keywords: complex systems, conceptual models, construction methods, composite materials, cognitive map

Концептуальная модель сложной системы формируется на основе особенностей восприятия мира, ценностей, интересов исследователя и представляет собой ее когнитивную (познавательную) модель [1–3]. Объект описывается на основе ограниченного числа измерений, исходя из некоторой концепции (точки зрения), для достижения определенного уровня абстрагирования на пути от предварительного описания объекта к его формальной модели.

В логико-семантической концептуальной модели объект описывается в терминах и определениях соответствующих предметных областей знаний (известные логически

непротиворечивые утверждения и факты, накопленные в соответствующих предметных областях).

В *структурно-функциональных моделях* объект обычно рассматривается как *целостная система, которую расчленяют на отдельные элементы или подсистемы*. Части системы связываются структурными отношениями, описывающими подчиненность, логическую и временную последовательность решения отдельных задач (схемы, карты, диаграммы и др.).

Причинно-следственные модели используются для объяснения и прогнозирования поведения объекта. Они ориентированы, в основном, на описание динамики исследуемых процессов (время не всегда учитывается в явном виде).

Когнитивное моделирование есть инструмент исследователя для решения системных задач; технология когнитивного моделирования определяет постановку и решение системных задач, направленных на ту или иную из целей исследования (идентификация объекта, сценарный анализ, анализ путей и циклов когнитивной карты, анализ связности и др.). Итогом процесса идентификации сложной системы на первом этапе исследования и является *когнитивная карта (знаковый ориентированный граф)*; останется ли она неизменной, зависит от эксперта после всех этапов когнитивного моделирования. При ее построении выделяются основные характеристики исследуемой системы (факторы, изображаются в виде точек, которые можно измерить, хотя бы чисто качественно). Причинные зависимости между факторами на карте указываются в виде стрелок, соединяющих две точки (если факторы А и В возрастают, то стрелка выходит из точки А и входит в точку В, у стрелки ставится знак «+»; если при росте причины следствие убывает, то ставится знак «-»). На карте учитываются все известные причинно-следственные связи (точки называются *вершинами*, а стрелки – *ребрами*). *Целевыми* являются факторы, которые надо изменить в нужную сторону (их не должно быть много), *управляющие* можно изменить в определенных пределах. В результате *когнитивной структуризации* получим формальное описание знаний когнитивной моделью (в виде схемы, графа, матрицы, таблицы или текста). Разработка когнитивной модели – наиболее творческий и трудно формализуемый этап в деятельности исследователя сложной системы. Источниками информации для определения вершин являются теоретические сведения в изучаемой предметной области и согласованные решения группы экспертов (*коллективная когнитивная карта*). В силу свойственной сложным системам иерархичности структуры используются также иерархические когнитивные карты и модели; обобщенные объекты (вершины) верхнего уровня когнитивной карты включают в качестве составляющих объекты нижних уровней.

Отметим, совсем еще недавно для создания сложных объектов использовались отраслевые технологии без взаимопроникновения технологий (лишь на основе сложения успехов и результатов различных технологических отраслей). В последнее время усиленно развивается **NBIC**-конвергенция [4] *нано-* (новый подход к конструированию материалов на основе атомно-молекулярного конструирования), *био-* (позволит вводить в конструирование неорганических материалов биологическую часть и таким образом получать гибридные материалы), *когнитивных технологий*, основанных на изучении сознания, познания, мыслительного процесса, поведения живых существ (человека в первую очередь) как с нейрофизиологической и молекулярно-биологической точек зрения, так и с помощью гуманитарных подходов.

Ограничимся примером *синтеза материала как сложной системы* [5–6], что представляет собой организованную в соответствии с технологией системного анализа последовательность многовариантных экспериментов (в том числе вычислительных), на каждом шаге которой для исследования и поиска приемлемых решений варьируются структура и значения параметров модели; производится оценка результатов и принимается решение о дальнейшем направлении исследования. С теоретической точки зрения необходимы автоматизированная интеллектуальная технология и системная среда машинного исследования материалов как систем. Фундаментальную роль играет *САТУРН-технология* [7]. В известной мере ее можно рассматривать как модификацию

метода ПАТТЕРН (успешно использовался при исследовании динамики и проектировании систем управления сложными объектами с системных позиций [8–15]).

Методологической основой построения математических моделей сложных систем здесь является *модульность структурных свойств* (сложная система представляется в виде совокупности взаимодействующих элементов). Алгоритмическое знание о математических моделях, методах и методиках исследования имеет сложную иерархическую модульную структуру. Используются три концептуально обособленных слоя: вычислительный, схемный и производственный.

В иерархии слоев понятия *производственного слоя* (определяют технологию решения задач анализа и проектирования материала) раскрываются через понятия *схемного слоя* (система согласованных объектов, в качестве которых выступают операции и параметры для описания модульной структуры математической модели и алгоритмов ее исследования; схемные знания отражают весь интересующий исследователя набор понятий, необходимых для описания структурных особенностей и характеристик блоков математических моделей и методов их исследования), которые, в свою очередь, раскрываются через понятия *вычислительного слоя* (является основанием всей пирамиды знаний в виде библиотек, снабженных спецификациями, автономно транслируемых и отлаживаемых модулей подпрограмм).

При рассмотрении материалов как систем сложность подразумевается на модельном уровне (составной характер математической модели). Это означает представление сложной модели в виде взаимодействующих подсистем, модулей и элементов и связей между ними. Важно указать наиболее часто используемые на практике алгоритмические модели, когда описывающие сложные системы уравнений оформляются в виде множества взаимосвязанных процедур, а организованный на этой основе вычислительный процесс в определенном смысле позволяет описать поведение моделируемой системы. При компьютерном моделировании база алгоритмических знаний определяется как совокупность понятий «модель – метод – методика». Предусматривается выделение в сложной противоречивой системе функциональных подсистем на основе четкой формулировки целей по уровням. Количество целей не ограничивалось, но предполагалась их детализация с указанием взаимосвязей. Использовался принцип деления сложной проблемы на более мелкие с использованием результатов количественной экспертной оценки каждой из подпроблем, исходя из различных критериев. Метод в основном предназначался для прогноза, насколько сформулированные цели могут быть достигнуты. Определялись перечень конечных целей, суммарные веса целей (показатели научно-технической значимости; сумма коэффициентов относительной важности для каждого уровня иерархии принимались равной единице). На заключительном этапе осуществлялось рациональное распределение ресурсов в соответствии с уровнем этих коэффициентов. Для повышения степени обоснованности принимаемого решения, выбора варианта из числа альтернативных (с указанием оптимальных) использовались модели, отражающие все те факторы и взаимосвязи реальной ситуации, которые могли проявиться в процессе осуществления решения. Метод позволил определить классы критериев оценки относительной важности, взаимную полезность, состояние и сроки выполнения научно-исследовательских разработок, а также необходимость разумного баланса между внутренней логикой науки и ее практической значимостью (его нарушение приводит к безразличию общества к науке или потере перспективы в фундаментальных исследованиях).

Системный подход позволяет уменьшить или даже исключить неопределенность, свойственную решаемой проблеме; реконструировать ее в моделях, отвечающих целям исследования; выявлять объекты, свойства и связи исследуемой системы с учетом взаимного влияния внешней среды. Сложные иерархические структуры в соответствии с методикой ПАТТЕРН можно рассматривать и как набор определенным образом типологизированных элементов и связей между ними (многоуровневое представление структур). Переход с одного уровня на другой осуществляется путем выделения определенных подструктур, которые, в свою очередь, можно рассматривать в качестве *макроскопических* элементов, связанных между собой более простым и понятным

образом. Элементы более низкого уровня могут рассматриваться как *микроскопические*. Тогда система при ее проектировании конфигурируется с использованием так называемых *паттернов* (англ. *pattern* – образец, пример, принцип; не путать с методикой ПАТТЕРН!). Паттерн можно рассматривать как некое удачное типовое решение проблемы или как систематически повторяющийся фрагмент или последовательность элементов системы (широко применяется при создании программного обеспечения). В общем случае паттерн-проектирование представляет собой формализованное описание часто встречающейся задачи проектирования. Важнейшим на начальном этапе при работе с паттернами является адекватное моделирование рассматриваемой предметной области.

Низшим уровнем представления системы является описание ее в терминах классов (со своими атрибутами и операциями) и соответствующих им объектов, выступающих в качестве микроскопических элементов, и отношений между ними, играющих роль связей. Примером макроскопического элемента следующего уровня является системная архитектура, представляющая собой базовую подструктуру рассматриваемой системы.

Высшим уровнем является интеграция отдельных систем, которые рассматриваются в качестве макроскопических элементов. Описание системы в терминах классов является низшим уровнем ее представления. При моделировании системы на уровне классов проводится дополнительная типологизация: описывается структура системы в терминах микроскопических элементов и указывается, насколько система соответствует требуемому значению функционала. Модель системы, построенная в терминах паттернов проектирования, является структурированным выделением значимых при решении поставленной задачи элементов и связей. Правильно сформулированный паттерн проектирования дает возможность пользоваться однажды найденным решением многократно.

Модификация метода ПАТТЕРН и Сатурн-технология эффективно использовались для управления структурой и свойствами радиационно-защитных и химически стойких композиционных материалов [9–15]. В основе проектирования лежит техническое задание с указанием организации и свойств материала как системы. Возможность создания композита и реализация технического задания первоначально определялись на этапе когнитивного моделирования с установлением интенсивных и экстенсивных свойств с выделением управляющих параметров. На основе когнитивной карты определялись иерархические структуры критериев качества, а в соответствии с выделенными критериями качества – соответствующие структурные схемы системы (для каждого выделенного масштабного уровня). Далее осуществлялась формализация критериев качества системы и разрабатывались математические модели в соответствии с каждым из критериев. Наконец, на основе решения задач однокритериальной оптимизации с использованием найденных оптимальных значений осуществлялись формализация многокритериальной задачи и ее решение (определялись оптимальная структура и свойства системы).

Уровень практического использования НБИКС-технологий в создании материалов, как и в медицине, энергетике, образовании, военном деле и т.д., во многом определится последующими межотраслевыми исследованиями.

Список литературы

1. Гарькина, И.А. Когнитивное моделирование сложных слабоструктурированных систем: пример реализации / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Региональная архитектура и строительство. – 2008. – №2(5). – С. 16–21.
2. Information models for designing conceptual broad-profile flight simulators / A.N. Andreev, A.M. Danilov, B.V. Klyuev, E.V. Lapshin, A.V. Blinov, N.K. Yurkov // Measurement Techniques. – 2000. – Т. 43. – № 8. – Р. 667.
3. Гарькина, И.А. Строительные материалы как систем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С. 55–58

4. Дубровский, Д.И. НБИКС-конвергенция: некоторые теоретические и методологические вопросы / Д.И. Дубровский // НБИКС-наука и технологии. – 2017. – №2. – С.37–45
5. Garkina, I.A. Methodological principles design of composite materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.A. Budylna // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Т. 11, № 11. – P. 2524–2527.
6. Гарькина, И.А. Опыт разработки композиционных материалов: некоторые аспекты математического моделирования/известия высших учебных заведений / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Строительство. – 2013. – № 8. – С. 28.
7. Васильев, С.Н. Интеллектуальный подход к автоматизации моделирования сложных управляемых систем / С.Н. Васильев, Г.А. Опарин, А.Г. Феоктистов // Труды Международной конференции RDAMM-2001 (Спец. выпуск). – Новосибирск, 2001. – Т. 6, ч. 2. – С. 159–168.
8. Оптимизация систем со сложной иерархией / А.И. Альбакасов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 2 (31). – С. 324–327.
9. Управление структурой и свойствами наномодифицированных строительных материалов / А.И. Альбакасов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 9–17.
10. Garkina, I.A. Modeling of building materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Yu.P. Skachkov // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 730. – P. 412–417.
11. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Journal of Basic and Applied Research International. – 2016. – Vol. 18, № 2. – P. 95.
12. 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. – 2017. – Vol. 723. – P. 32–36.
13. 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.
14. Garkina, I.A. From the experience of development of composite materials with desired properties / I.A. Garkina, A.M. Danilov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2nd International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering. – 2017. – P. 012006.
15. Гарькина, И.А. Управление качеством материалов со специальными свойствами / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Проблемы управления. – 2008. – № 6. – С. 67–73.

References

1. Garkina, I.A. Cognitive modeling of complex weakly structured systems: an example of implementation / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // Regional architecture and engineering. – 2008. – №2 (5). – P. 16–21.
2. Information models for designing conceptual broad-profile flight simulators / A.N. Andreev, A.M. Danilov, B.V. Klyuev, E.V. Lapshin, A.V. Blinov, N.K. Yurkov // Measurement Techniques. – 2000. – Т. 43. – № 8. – P. 667.
3. Garkina, I.A. Building materials as systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // Building Materials. – 2006. – №. 7. – P. 55–58.
4. Dubrovsky, D.I. NBICS-convergence: some theoretical and methodological issues / D.I. Dubrovsky // The NBICS-science and technology. – 2017. – №2. – P.37–45.
5. Garkina, I.A. Methodological principles design of composite materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.A. Budylna // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11, № 11. – P. 2524–2527.

6. Garkina, I.A. Experience in the development of composite materials: some aspects of mathematical modeling / I.A. Garkina, A.M. Danilov // News of higher educational institutions. Building. – 2013. – № 8. – P. 28.
7. Vasiliev, S.N. Intellectual approach to automating the simulation of complex managed systems / S.N. Vasiliev, G.A. Oparin, A.G. Feoktistov // Proceedings of the International Conference RDAMM-2001 (Specification release). – Novosibirsk, 2001. – Vol. 6, part 2. – P. 159–168.
8. Optimization of systems with a complex hierarchy / A.I. Albakasov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // Bulletin of civil engineers. – 2012. – № 2 (31). – P. 324–327.
9. Management of the structure and properties of nanomodified building materials / A.I. Albakasov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // Regional architecture and engineering. – 2011. – №2. – P. 9–17.
10. Garkina, I.A. Modeling of building materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Yu.P. Skachkov // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 730. – P. 412–417.
11. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Journal of Basic and Applied Research International. – 2016. – Vol. 18, № 2. – P. 95.
12. Garkina, I. Principles of optimal control in the synthesis of composite materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 723. – P. 32–36.
13. 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.
14. Garkina, I.A. From the experience of development of composite materials with desired properties / I.A. Garkina, A.M. Danilov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2nd International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering. – 2017. – P. 012006.
15. Garkina, I.A. Quality management of materials with special properties / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Control problems. – 2008. – №6. – P. 67–73.

УДК 691.542

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

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

Изучено влияние некоторых тонкодисперсных добавок на физико-механические свойства цементных композитов. Проведённые исследования показали, что повышение прочности цементного камня достигается при количестве добавки не более 2 % от массы цемента. Методом двухфакторного планирования эксперимента исследовано влияние совместного применения тонкодисперсных добавок и гиперпластификатора на свойства мелкозернистого бетона.

Полученные результаты позволяют предположить, что поверхность частиц (ТДД) с адсорбированными ионами кальция служит центром направленной кристаллизации гидроксида кальция из пересыщенного раствора затворённого цемента.

Ключевые слова: портландцемент, тонкодисперсные добавки, физико-механические свойства

A STUDY OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FINE-DISPERSE ADDITIVES ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT COMPOSITES

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

The influence of some fine-dispersed additives on the physical and mechanical properties of cement composites was studied. The research showed that the increase of cement strength stone is achieved with the amount of additive not more than 2 % of cement mass. The effect of the combined use of finely dispersed additives and hyperplasticizer on the properties of fine-grained concrete was investigated using the two-factorial design of the experiment.

The obtained results suggest that the particles surface (TDD) with adsorbed calcium ions serves as a center for the directional crystallization of calcium hydroxide from a supersaturated solution of mixing cement.

Keywords: portland cement, fine disperse additives, physical and mechanical properties

Одним из перспективных направлений строительного материаловедения является создание бетонных смесей и бетонов с высокими эксплуатационными свойствами. Эта задача во многих случаях решается с помощью химических и минеральных тонкодисперсных добавок – модификаторов разной природы и механизма действия. Наиболее эффективными добавками являются высокоактивные тонкодисперсные наполнители и высокоэффективные супер- и гиперпластификаторы [1, 2].

Целью данной работы являлось изучение влияния различных химических и минеральных тонкодисперсных добавок на свойства цементных композитов.

Ранее было установлено [3–5], что введение в состав цементных композитов высокодисперсных частиц углерода приводит к повышению активности цемента. Данная работа является продолжением исследований по разработке упрочняющих тонкодисперсных добавок для цементных систем. На первом этапе исследований изучалась возможность использования в качестве добавки технического углерода.

Для оценки эффективности применения углеродосодержащей добавки проводился ряд сравнительных экспериментов, целью которых было получение зависимостей физико-механических свойств цементного камня от количества и дисперсности вводимых добавок. Для исследований использовались следующие материалы:

- портландцемент марки ПЦ 500-Д0-Н (ПАО «МОРДОВЦЕМЕНТ») по ГОСТ 10178–85;
- песок полифракционный по ГОСТ 6139–2003;
- вода затворения по ГОСТ 23732–2011;
- гиперпластификатор MasterGlenium51 (BASF– Construction Chemicals);
- углерод технический марки МУИ 99 (ООО «Челябинский опытно-экспериментальный завод») по ТУ 1916-003-99264460-10. Фракции: 0–0,14 мм; 0,14–0,315 мм; 0,315–1,25 мм.

Для проведения эксперимента изготавливались и испытывались образцы-балочки 4x4x16 см в соответствии с ГОСТ 310.4-81.

Результаты испытаний представлены на рис.1-3.

Из представленных результатов (см. рис.1-2) видно, что прирост предела прочности возрастает с увеличением тонкости помола. Максимальная прочность достигается при содержании углеродосодержащей добавки 4 % (фр. 0 – 0,14 мм) от массы цемента, при этом прочность цементного камня на сжатие увеличивается на 25 %, на растяжение при изгибе – 10 %. Дальнейшее увеличение количества добавки приводит к понижению прочностных свойств цементного камня. Подвижность смеси изменилась незначительно (см. рис.3).

Для оценки эффективности совместного применения углеродосодержащей добавки и гиперпластификатора на свойства мелкозернистого бетона (МЗБ) изготавливались мелкозернистые бетонные смеси следующего состава:

- Ц/П=1/3 (для всех образцов);
- В/Ц=0,4 (для первой серии образцов, рис.4-7);
- В/Ц понижалось до расплыва на встряхивающем столике 108-115 мм (для второй серии образцов, рис.8-10);
- добавки вводились в виде раствора с последней третью воды затворения;
- перемешивание миксером 3 мин при частоте вращения 1000 об/мин.

Экспериментальные исследования проведены с применением методов математического планирования эксперимента. В качестве матрицы планирования использовали план Коно, состоящий из 9 опытов. Варьируемыми факторами служили: X_1 – количество углеродосодержащей добавки, % от массы цемента; X_2 – количество ГП, % от массы цемента.

Графические зависимости изменения физико-механических свойств МЗБ от величины варьируемых факторов, построенные по уравнениям регрессии, приведены на рис. 4–10.

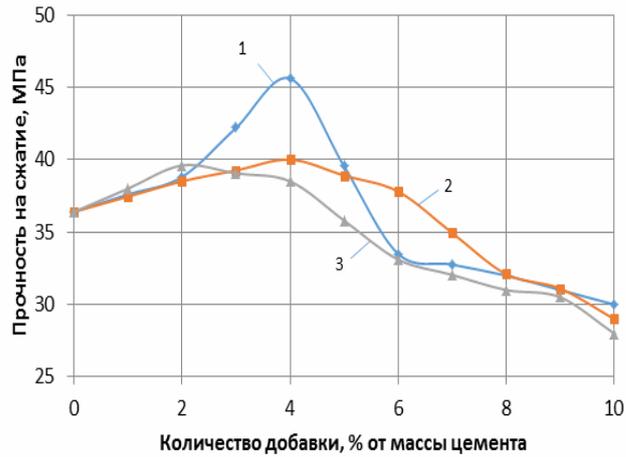


Рис.1. Зависимость изменения прочности цементного камня на сжатие от размера частиц и количества вводимой добавки МУИ 99:

1 – фр. 0 – 0,14 мм; 2 – фр. 0,14 – 0,315 мм; 3 – фр. 0,315 – 1,25 мм

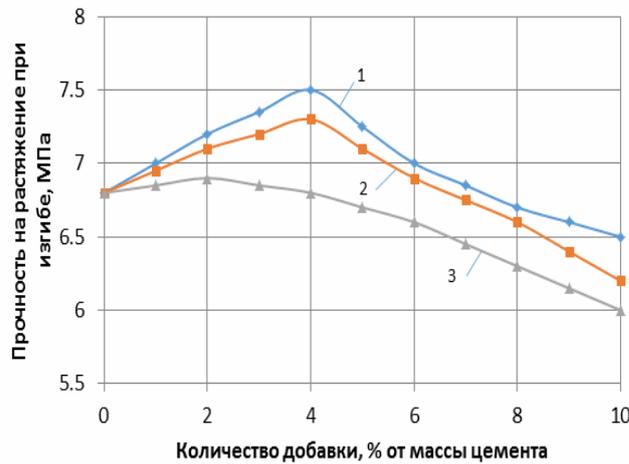


Рис.2. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе цементного камня от размера частиц и количества вводимой добавки МУИ 99:

1 – фр. 0 – 0,14 мм; 2 – фр. 0,14 – 0,315 мм; 3 – фр. 0,315 – 1,25 мм

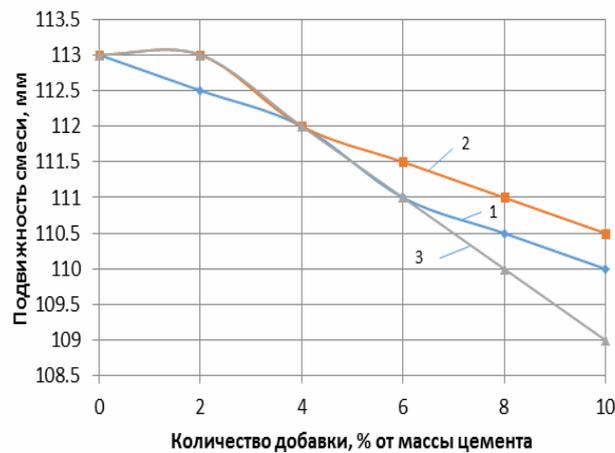


Рис.3. Изменение подвижности смеси от размера частиц и количества вводимой добавки МУИ 99:

1 – фр. 0 – 0,14 мм; 2 – фр. 0,14 – 0,315 мм; 3 – фр. 0,315 – 1,25 мм

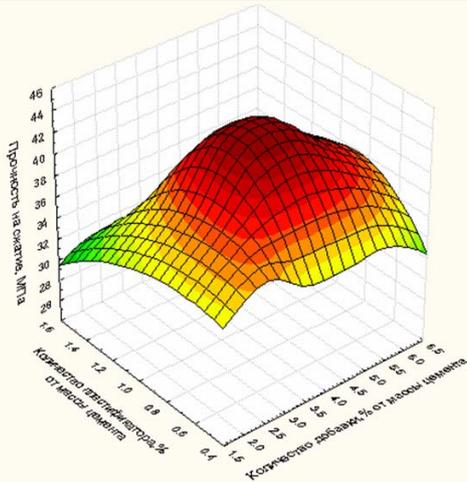


Рис.4. Зависимость изменения прочности на сжатие МЗБ от количества углеродосодержащей добавки и гиперпластификатора MasterGlenium51, МПа

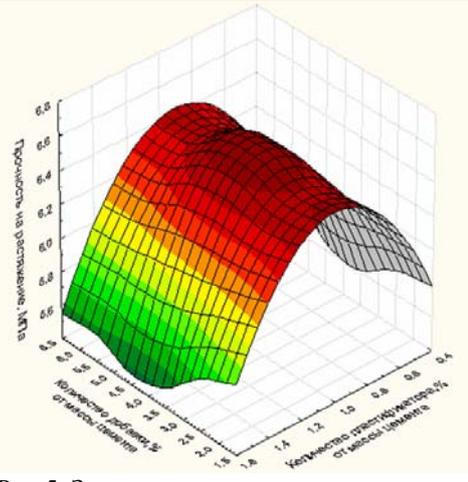


Рис.5. Зависимость изменения прочности на растяжение при изгибе МЗБ от количества углеродосодержащей добавки и гиперпластификатора MasterGlenium51, МПа

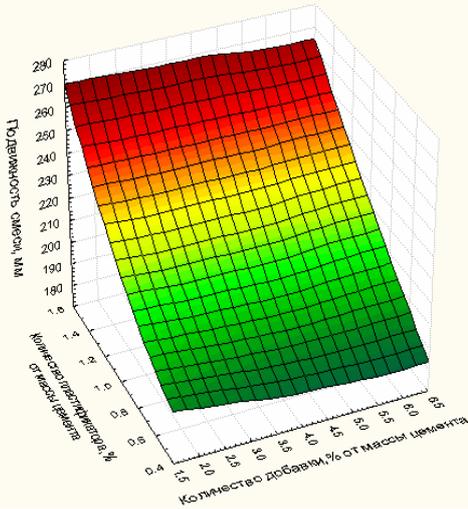


Рис.6. Зависимость изменения подвижности МЗБ от количества углеродосодержащей добавки и ГП «MasterGlenium51», МПа

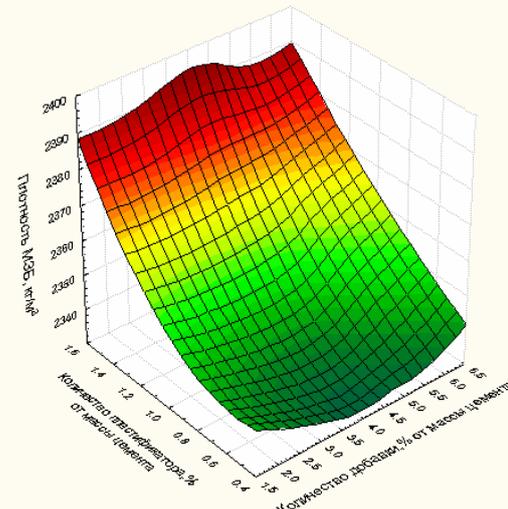


Рис.7. Зависимость изменения плотности МЗБ от количества углеродосодержащей добавки и ГП «MasterGlenium51», кг/м³

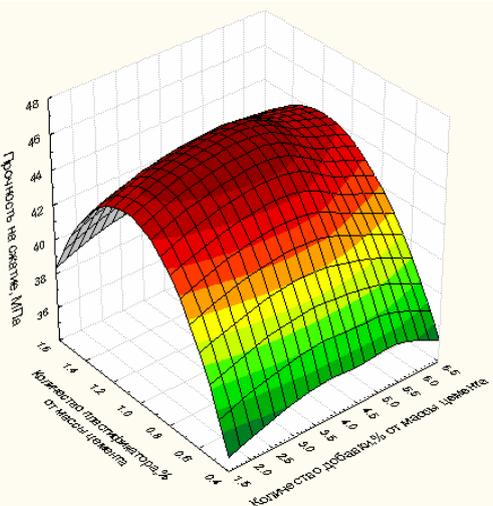


Рис.8. Зависимость изменения прочности на сжатие МЗБ от количества углеродосодержащей добавки и ГП «MasterGlenium51» – для изопластичных смесей, МПа

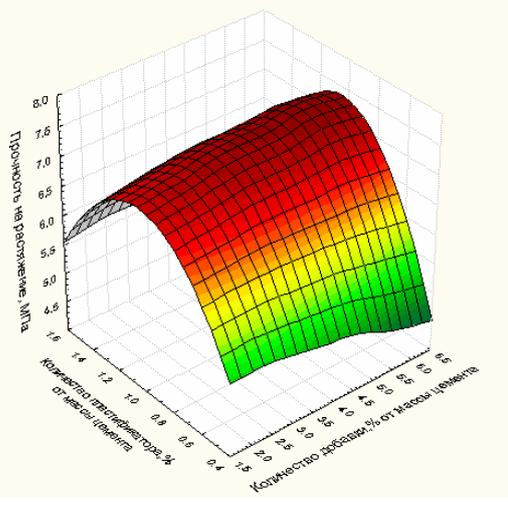


Рис.9. Зависимость изменения прочности на растяжение при изгибе МЗБ от количества углеродосодержащей добавки ГП «MasterGlenium51» – для изопластичных смесей, МПа

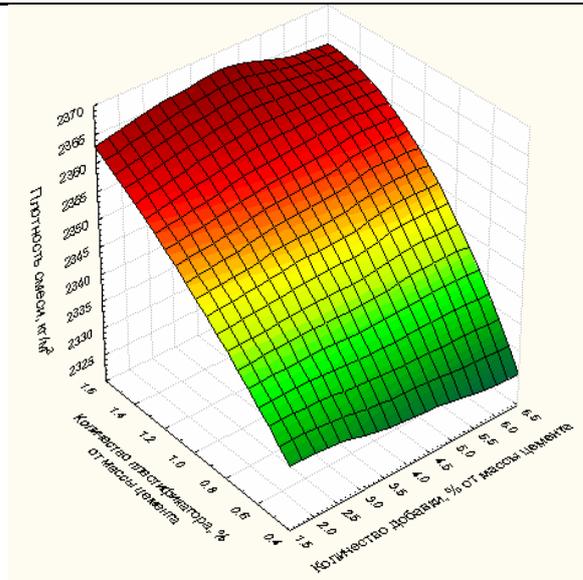


Рис.10. Зависимость изменения плотности МЗБ от количества углеродосодержащей добавки и гиперпластификатора «MasterGlenium51» – для изопластичных смесей, кг/м³

Из полученных результатов исследований видно, что использование углеродосодержащей добавки (фр.0-0,14 мм) и ГП «MasterGlenium51» позволяет увеличить подвижность смеси на 132 % (В/Ц=0,4) и прочность при сжатии на 22 %. Для изопластичных смесей прочность при сжатии увеличилась на 28 %.

Повышение прочности цементной системы в присутствии тонкодисперсного угля, по-видимому, обусловлено адсорбцией ионов кальция из цементного раствора. В дальнейшем поверхность частиц угля с адсорбированными ионами кальция служит центром направленной кристаллизации гидроксида кальция из пересыщенного раствора затворённого цемента. При изучении закономерностей адсорбции ионов кальция из раствора гидроксида кальция на угле было установлено, что величина максимальной адсорбции при 22°C оказалась равной 38 мг/г.

Для подтверждения вышеизложенного предположения было исследовано влияние другой тонкодисперсной добавки, содержащей кальций (КСД) и полученной путём химического синтеза. По нашему мнению, данная добавка может служить центром начала кристаллизации первичных продуктов гидратации цемента, в частности гидроксида кальция.

Для изучения влияния химической добавки КСД на физико-механические свойства цементного камня проводилась серия экспериментов по описанной выше методике. Результаты представлены на рис. 11-13.

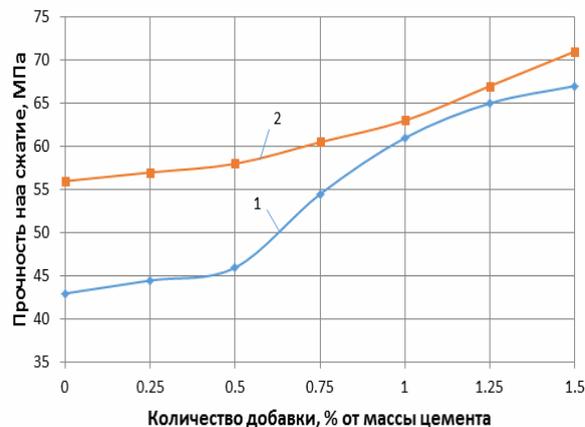


Рис.11. Зависимость изменения прочности цементного камня на сжатие от количества вводимой добавки КСД: 1 – ПО «Мордовцемент»; 2 – ПО «Азия Цемент»

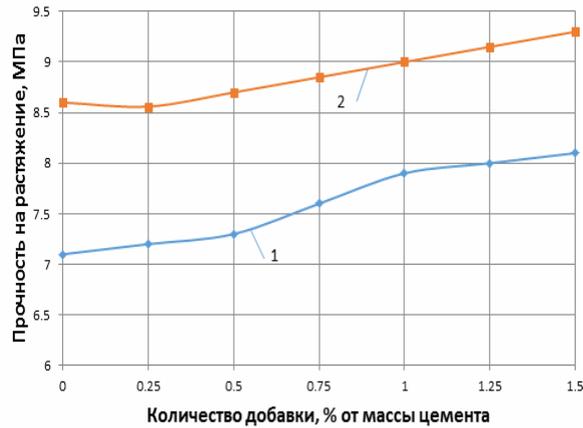


Рис.12. Зависимость изменения прочности цементного камня на растяжение при изгибе от количества вводимой добавки КСД:
1 – ПО «Мордовцемент»; 2 – ПО «Азия Цемент»

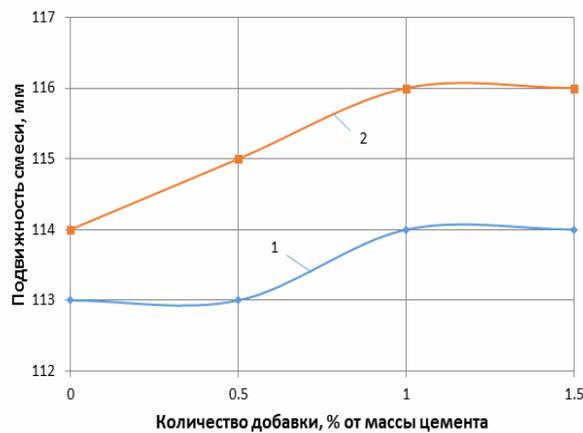


Рис.13. Изменение подвижности смеси от количества вводимой добавки КСД:
1 – ПО «Мордовцемент»; 2 – ПО «Азия Цемент»

Полученные результаты (см. рис.11–12) показали, что применение КСД существенно увеличивает прочность цементного камня: при сжатии – на 58 %, при изгибе – на 15 % (для портландцемента ПО «Мордовцемент»); при сжатии – на 22 %, при изгибе – на 7 % (для портландцемента ПО «Азия Цемент»). Подвижность смеси (см. рис.13) изменилась незначительно.

С целью определения совместного влияния КСД и ГП «MasterGlenium51» на физико-механические свойства МЗБ проводилась серия экспериментов с применением методов математического планирования эксперимента. В качестве матрицы планирования использовали план Коно, состоящий из 9 опытов. Варьируемыми факторами служили: X_1 – количество добавки, % от массы цемента; X_2 – содержание ГП, % от массы цемента. В качестве вяжущего был принят портландцемент ПО «Мордовцемент». Для первой серии образцов водотвёрдое отношение принято 0,4 (рис.14-17), для второй серии (рис.18–20) водотвёрдое отношение понижалось до расплыва на встряхивающем столике 108–115 мм.

После проведения статистической обработки результатов эксперимента получены графические зависимости изменения физико-механических свойств МЗБ.

Проведённые исследования показали, что использование добавки КСД и ГП «MasterGlenium51» приводит к увеличению подвижности смеси на 140 % ($B/C=0,4$) и повышению прочности при сжатии на 16 %. Для изопластичных смесей прочность при сжатии увеличивается на 65 %, на растяжение при изгибе – на 21 %.

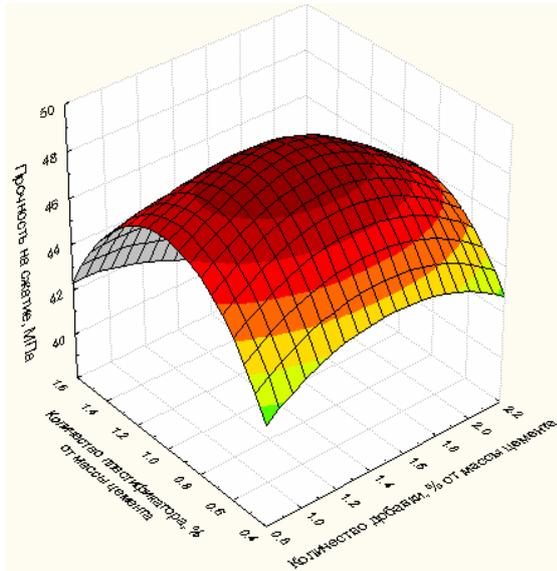


Рис.14. Зависимость изменения прочности на сжатие МЗБ от количества КСД и ГП «MasterGlenium51», МПа

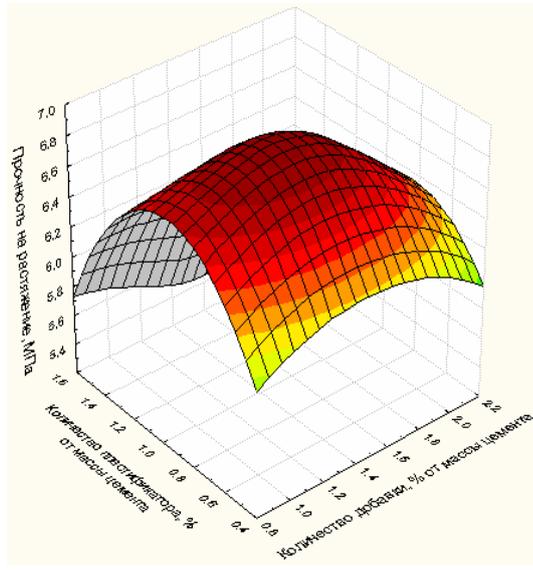


Рис.15. Зависимость изменения прочности на растяжение при изгибе МЗБ от количества КСД и гиперпластификатора «MasterGlenium51», МПа

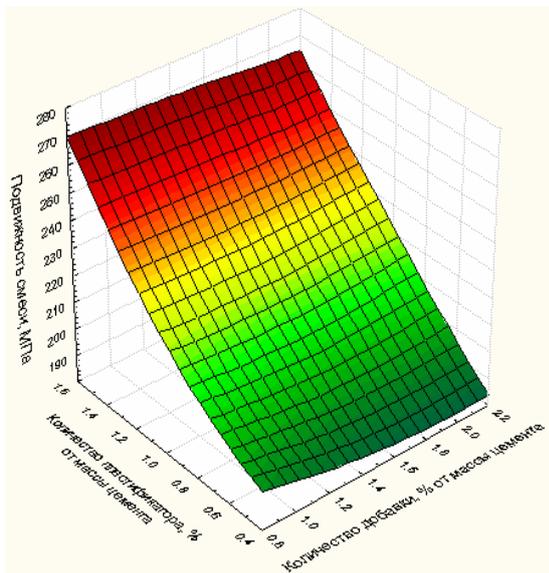


Рис.16. Зависимость изменения подвижности МЗБ от количества КСД и ГП «MasterGlenium51», МПа

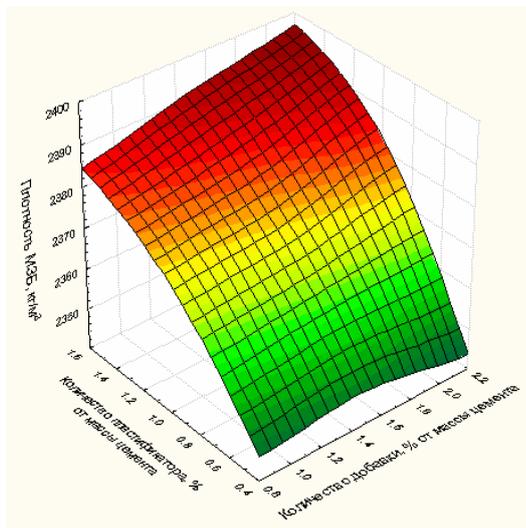


Рис.17. Зависимость изменения плотности МЗБ от количества КСД и ГП «MasterGlenium51», кг/м³

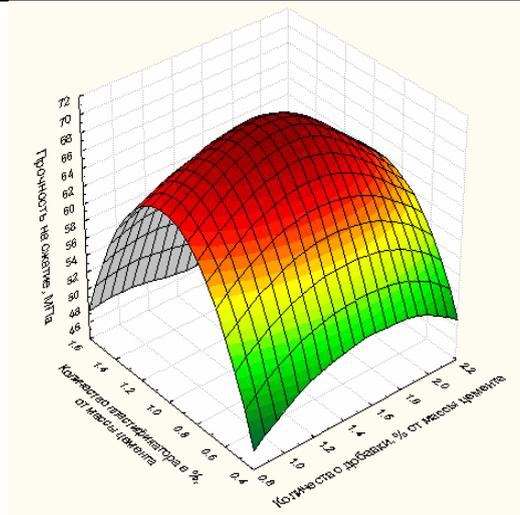


Рис.18. Зависимость изменения прочности на сжатие МЗБ от количества КСД и гиперпластификатора «MasterGlenium51» – для изопластичных смесей, МПа

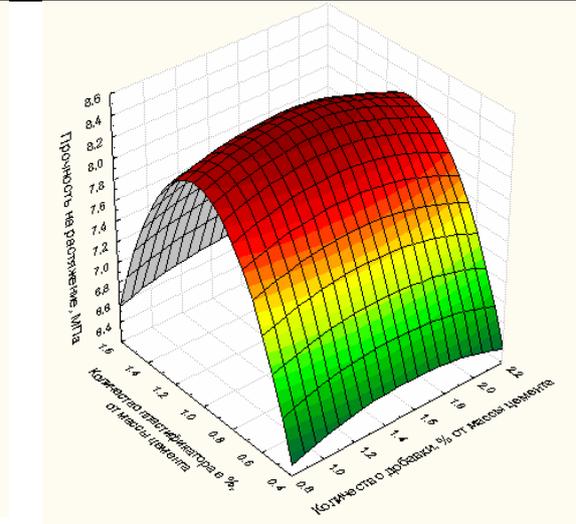


Рис.19. Зависимость изменения прочности на растяжение при изгибе МЗБ от количества КСД и гиперпластификатора «MasterGlenium51» – для изопластичных смесей, МПа

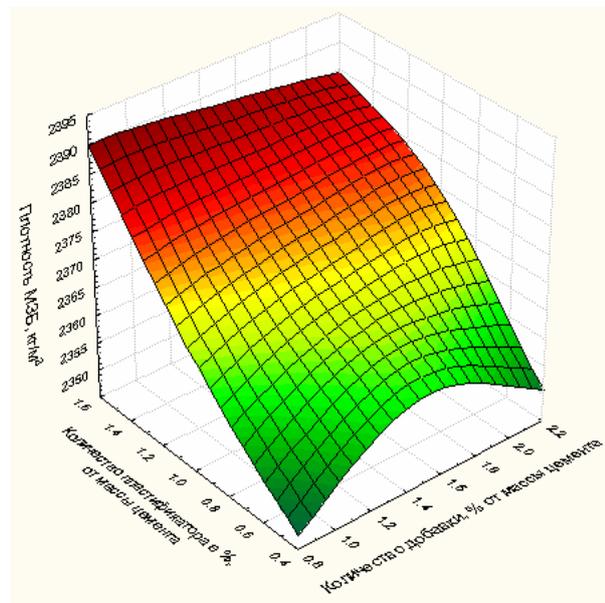


Рис.20. Зависимость изменения плотности МЗБ от количества КСД и ГП «MasterGlenium51» – для изопластичных смесей, кг/м³.

Из вышерассмотренных результатов экспериментов выявлено, что оптимальное содержание ТДД в цементной системе находится в пределах 2 % от массы цемента, при этом возможное увеличение прочности составляет более 50 %.

Список литературы

1. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников.– М.: АСВ, 2006. – 368 с.
2. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны / В.Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
3. Портландцемент с добавкой химически модифицированного диатомита и суперпластификатора / В.Д. Черкасов, В.И. Бузулуков, А.И. Емельянов, Д.Н. Пронин // Вестник Приволжского территориального отделения. – 2016. – Вып.19. – С. 229 – 231.

4. Черкасов, В.Д. Модификация цементного камня комплексной добавкой на основе супер-, гиперпластификатора и углеродного порошка / В.Д. Черкасов, В.И. Бузулуков, Д.Н. Пронин // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 4 (29). – С. 40 – 49.

5. Портландцемент, модифицированный активными минеральными добавками на основе диатомита / В.Д. Черкасов, В.Т. Ерофеев, А.И. Емельянов, Д.В. Черкасов, О.В. Тараканов // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 4 (21). – С. 5–9.

References

1. Bazhenov, Yu.M. Modified high-quality concretes /Yu.M. Bazhenov, V.S.Demyanova, V.I. Kalashnikov. – M.: Publishing Association of Building universities, 2006. – 368 p.

2. Batrakov, V.G. Modified concretes /V.G. Batrakov.– M.: Stroyizdat, 1998. – 768 p.

3. Portland cement with the addition of chemically modified diatomite and superplasticizer / V.D. Cherkasov, V.I. Buzulukov, A.I. Emelyanov, D.N. Pronin // The Bulletin of the Privolzhsky territorial department. – 2016. – Iss. 19. – P. 229–231.

4. Cherkasov, V.D. Modification of cement stone with a complex additive based on super-, hyperplasticizer and carbon powder / V.D. Cherkasov, V.I. Buzulukov, D.N. Pronin // Regional architecture and engineering. – 2016. – No. 4 (29). – P. 40–49.

5. Portland cement modified with active mineral additives based on diatomite / V.D. Cherkasov, V.T. Erofeev, A.I. Emelyanov, D.V. Cherkasov, O.V. Tarakanov // Regional architecture and engineering. – 2014. – No. 4 (21). – P. 5–9.

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

МЕТОДЫ ТЕОРИИ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Дается представление технологического процесса как целостной эргатической системы. Описываются проблемы идентификации человека как субъекта управления (оператор рассматривается как лицо, принимающее решение). Осуществляется структуризация технологического процесса. Приводятся методы оценки качества управления в эргатической системе. Затрагиваются вопросы нормализации, ранжировки, существенности критериев; определения по глобальному критерию балльной структуры управляющих воздействий. Представлены результаты практической апробации.

Ключевые слова: сложные системы, эргатические системы, методы исследования, технологические процессы, оператор, структуризация, моделирование

METHODS OF THE THEORY OF ERGATIC SYSTEMS IN MATERIALS SCIENCE

A.M. Danilov, I.A. Garkina

The representation of the technological process as an integral ergatic system is given. The problems of identification of a person as a subject of management are described (the operator is considered as a decision-maker). The structuring of the technological process is carried out. The methods of assessing the quality of control in the ergatic system are given. The questions of normalization, ranking, importance of criteria are raised; definitions by global criterion of mark structure of the operating influences. Results of practical approbation are specified.

Keywords: complex systems, ergatic systems, research methods, technological processes, operator, structurization, modeling

В теории управления человек в задачах автоматизации технологического процесса рассматривается как оператор эргатической системы (субъект управления, [1]). Ниже анализируются методы оценки качества управления в эргатической системе. Отдается предпочтение методам, которые могли бы использоваться при решении коренной задачи идентификации целостной эргатической системы [2]. Имеющееся обилие литературы по этому вопросу не проясняет трудности идентификации человека как субъекта управления, особенно для формализованного математического описания структурных схем. В частности, многими научными школами человек-оператор

определяется как собирательное понятие «система отображения информации – человек – органы управления». Описывается связь входного сигнала, поступающего к оператору, с выходным. Предполагается, что оператор сравнивает текущий входной сигнал с заданным опорным сигналом; при этом умалчивается практическая невозможность его формализации. В известной мере некоторую ясность в формализации дает представление оператора в виде трех основных звеньев: анализатор с передаточной функцией W_{oc} , моторная часть человека с передаточной функцией W_1 , сумматор как некое сравнивающее устройство в центральной нервной системе. Из этой схемы становится очевидным, почему исследователи в основном уходят от рассмотрения вопросов формализации структурной схемы эргатической системы. Все дело в том, что не формализуется элементарнейший сумматор; без этого невозможно составить уравнение замыкания. Поэтому можно говорить о решении задачи идентификации целостной эргатической системы (в том числе автоматизации технологического процесса) лишь косвенными методами. Этот вывод очень важен: он отрицательный, но освобождает от многих бесполезных попыток непосредственной прямой идентификации. Однако возникает другая задача: почему не формализуется, в чем теоретические трудности формализации целостной системы кроме отмеченной трудности формализации сумматора? Дело в том, что отсутствие уравнения замыкания приводит к невозможности выделения во входном сигнале в технологическом процессе (управляющее воздействие оператора) сигнала, коррелированного с выходным сигналом. А это приводит к тому, что в результате только теоретического решения задачи идентификации ее практически не удастся решить. В то же время без ясного понимания именно теоретических трудностей, только экспериментально также не удастся решить эту задачу.

При решении ряда практических задач нами использовался теоретико-экспериментальный метод идентификации целостной эргатической системы. Тенденция при моделировании систем свести задачу моделирования целостной эргатической системы к идентификации лишь собственно объекта в целом ошибочна. Нами предусматривается ретроспективное определение обобщенных характеристик систем «оператор – техпроцесс» и «оператор – модель техпроцесса». Затем определяются параметры техпроцесса. По данным, полученным по модели техпроцесса, а также экспериментально, для системы «оператор – модель техпроцесса» можно определить передаточную функцию некоторого корректирующего устройства, учитывающего влияние коррелированной с выходным сигналом части входного сигнала. Предполагается, что корректирующая часть в системе «оператор – техпроцесс» такая же, как в системе «оператор – модель техпроцесса». Требуется итерационная процедура: реальный эксперимент – доводка модели техпроцесса – определение передаточной функции корректирующего устройства – реальный эксперимент – доводка модели техпроцесса и т.д.

Как уже отмечалось, в силу трудности описания человека появилась тенденция идентификации лишь собственно реального технологического процесса, однако при идентификации должны быть получены все частные операторы (не только техпроцесса, но и человека). Если структура техпроцесса (динамическая модель) однозначно определена, то идентификация реальной системы или «оператор – модель техпроцесса» возможна в случае, если операторы человека реализованы, как в реальном технологическом процессе. Приходим к известным трудностям, но с другой стороны. Действительно, в числе операторов человека будут операторы по формированию управляющих воздействий в условиях неполной информации при наличии помех и внешних воздействий. При таком подходе уже требуется создание в системе «человек – модель техпроцесса» информационного подобия.

В соответствии с организмическим принципом поведение оператора определяется технической частью (техпроцесс) эргатической системы; человек в целостной системе ведет себя организмически оптимально. Поэтому появляется возможность свести оценку точности идентификации к оценке структуры не всего класса управляющих воздействий оператора, а лишь оптимальных управляющих воздействий в реальной системе и в системе «оператор – модель техпроцесса» (когда процесс адаптации оператора уже завершился; при обучении оператора дело до адаптации вообще не

доводится, чтобы избежать формирования ложных навыков). Определение качества управления в эргатической системе является первым шагом в идентификации (возможным и крайне необходимым инструментом).

Оценка качества управления технологическим процессом является многокритериальной задачей, как правило, при противоречивых критериях. Как избежать неопределенности целей, достаточно подробно нами указывалось в [3, 4]. Нередко используется свертывание критериев в один глобальный. Однако это связано с выбором частных критериев, входящих в глобальный критерий. Частные критерии, как правило, являются разноразмерными. Возникают вопросы нормализации критериев, их ранжировки, существенности и, наконец, как по глобальному критерию определить балльную структуру управляющих воздействий. Многие из них освещались в [3, 5...7]:

- разработан единый комплексный алгоритм объективной оценки качества управления, основанный на использовании характеристик централизованных процессов управления;
- дан способ определения кодированных значений частных критериев с учетом интервалов их изменения в ансамбле реализаций;
- весовые константы определяются с учетом корреляционных связей между частными, групповыми и глобальными критериями;
- предложен подход к определению физического смысла каждого критерия;
- дана балльная оценка всего технологического процесса с участием человека в принятой шкале (в оценке участвуют только те процессы, которые укладываются в заданном коридоре, когда уже известно, что оценка положительна).

Показана возможность использования спектральных методов (спектры Фурье, обобщенные ряды Фурье, разложение по высшим трансцендентным функциям, ортогональным полиномам Лягерра и Чебышёва и др.). Однако следует помнить, что определение передаточной функции в частотной области по спектральным характеристикам, вообще говоря, не корректно. Некорректность понимается в смысле малой устойчивости результатов: в зависимости от вида входных процессов ошибка может быть сколь угодно большой. Поэтому к выбору ортонормированной системы при разложении надо подходить осторожно. Оптимальная система определяется выбранным функционалом качества (классический пример аналитического конструирования оптимальных регуляторов); при определении передаточных свойств по спектральным характеристикам (уравнение Винера – Хопфа) нельзя забывать о необходимости использования методов по решению некорректных задач.

Отметим также возможность и правомерность существования и другой точки зрения на идентификацию для обеспечения лишь ограниченного информационного подобия в реальной, а также модельной системе. Допускается деформация динамических характеристик технологического процесса для компенсации информационного дефицита (отсутствие информационного подобия; целенаправленная деформация возможна с использованием методов планирования эксперимента).

Список литературы

1. Гарькина, И.А. Управление в сложных технических системах: методологические принципы проектирования / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 1. – С. 39–42.
2. Данилов, А.М. Сложные системы: идентификация, синтез, управление / А.М. Данилов, И.А. Гарькина. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 308 с.
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. Преодоление неопределенности целей в задачах многокритериальной оптимизации на примере разработки сверхтяжелых бетонов для защиты от радиации /

И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев, В.А. Смирнов // Строительные материалы. – 2006. – № 9. – С. 104–105.

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

6. Будылина, Е.А. Моделирование с позиций управления в технических системах / Е.А. Будылина, А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 138–142.

7. Гарькина, И.А. Опыт разработки композиционных материалов: некоторые аспекты математического моделирования / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 8 (656). – С. 28–33.

References

1. Garkina, I.A. Control in complex technical systems: methodological principles of design / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. – 2012. – № 1. – P.39–42.

2. Danilov, A.M. Complex systems: identification, synthesis, management / A.M. Danilov, I.A. Garkina. – Penza: PGUAS, 2011. – 308 p.

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. Overcoming uncertainty of the purposes in problems of multicriteria optimization on the example of development of superheavy concrete for protection against radiation / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev, V.A. Smirnov // Construction materials. – 2006. – № 9. – P. 104–105.

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

6. Budylna, E.A. Modeling from positions of control in technical systems / E.A. Budylna, A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 2. – P. 138–142.

7. Garkina, I.A. Experience of development of composite materials: some aspects of mathematical modeling / I.A. Garkina, A.M. Danilov // News of higher educational institutions. Construction. – 2013. – No. 8 (656). – P. 28–33.

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 Erkibulan Bisengalievich,
Postgraduate
E-mail: mazhitov201090@gmail.com

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВНЕШНЕГО ВИДА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИСИЛИКАТНЫХ РАСТВОРОВ

В.И. Логанина, Е.Б. Мажитов

Приведены результаты исследования качества внешнего вида силикатных покрытий. Установлено, что для покрытий на основе калиевого полисиликатного раствора характерно более равномерное распределение шероховатости поверхности. Показано, что покрытия на основе полисиликатного раствора характеризуются более высоким качеством внешнего вида.

Ключевые слова: полисиликатные растворы, покрытия, шероховатость, качество внешнего вида

FORMATION OF THE QUALITY OF EXTERNAL COATINGS ON POLYSILICATE SOLUTIONS

V.I. Loganina, E.B. Mazhitov

The results of the study of the quality of external appearance of silicate coatings are presented. It is established that coatings based on potassium polysilicate solution are characterized by a more even distribution of the surface roughness. It is shown that coatings based on a polysilicate solution are characterized by a higher quality of appearance.

Keywords: polysilicate solutions, coatings, roughness, appearance quality

Для отделки фасадов зданий применяют силикатные краски, покрытия на основе которых отличаются более широкой и насыщенной цветовой гаммой, устойчивостью к воздействию микроорганизмов. Силикатные покрытия характеризуются высокой паропроницаемостью, отличаются незначительным прилипанием пыли и грязи, огнезащитными свойствами, экологичностью. Для повышения стойкости силикатных покрытий предложено использовать в качестве пленкообразующего полисиликатные растворы, полученные смешиванием жидкого стекла с золем кремниевой кислоты [1, 2]. Полисиликатные растворы содержат в своем составе наряду с частицами золя мономер, олигомеры и полимерные разновидности кремнезема [3, 4].

При разработке рецептуры силикатных красок на основе полисиликатных растворов 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). Полисиликатные растворы получали путем взаимодействия стабилизированных растворов коллоид-

ного кремнезема (золей) с водными растворами щелочных силикатов (жидкими стеклами) [5, 6, 7]. Применяли золи кремниевой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30, выпускаемые ПК «Промстеклоцентр». Характеристики кремнезелей приведены в табл. 1. Применяли натриевое жидкое стекло с модулем $M=2,78$, калиевое жидкое стекло с модулем $M=3,29$.

Т а б л и ц а 1

Характеристики кремнезелей

Наименование показателей	Nayosil 20	Nanosil 30
pH	9–10,8	9–10,6
Массовая концентрация диоксида кремния, г/л	220–237	329–362
Массовая концентрация оксида натрия, г/л	3–7	2,5–6,5
Силикатный модуль	50–90	55–100
Площадь удельной поверхности	220–370	220–300

Известно, что качество внешнего вида защитно-декоративных покрытий в числе других факторов определяет их стойкость в процессе эксплуатации. Под качеством внешнего вида понимается наличие включений, волнистость, меление и т.д. В связи с этим изучались закономерности формирования качества поверхности покрытий на основе краски с полисиликатным пленкообразующим. Качество внешнего вида покрытий оценивали по шероховатости поверхности.

Для оценки локальной структуры поверхности покрытий применяли методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) [8, 9, 10]. Обработка полученных изображений осуществлялась с помощью программного обеспечения SPIP Image Metrology и заключалась в анализе параметров шероховатости поверхности: R_y – размах высот (максимальный перепад высот между самой верхней и нижней точками поверхности профиля), R_a – средняя арифметическая шероховатость, R_q – среднее квадратическое отклонение, R_z – шероховатость поверхности по выбранным десяти максимальным высотам и впадинам (среднее абсолютное значение пяти наивысочайших пиков и пяти самых глубоких впадин [11, 12]. Результаты исследований приведены на рис. 1 и 2.

Установлено, что шероховатость поверхности покрытий R_a на основе калиевого жидкого стекла составляет 16,208 мкм, а на основе калиевого полисиликатного раствора – 10,880 мкм.

Максимальный перепад шероховатости поверхности покрытий на основе калиевого жидкого стекла составляет 65,539 мкм, а для покрытий на основе калиевого полисиликатного раствора – 57,169 мкм. Для покрытий на основе калиевого полисиликатного раствора характерно более равномерное распределение шероховатости поверхности (см. рис. 2,б). Согласно гистограммам распределения по высотам (см. рис. 2) самая высокая относительная частота (0,134) соответствовала значению шероховатости от 25 до 30 мкм для покрытий на основе калиевого жидкого стекла и от 0 до 5 мкм для покрытий на основе калиевого полисиликатного раствора при самой высокой относительной частоте 0,17.

Для покрытий на основе калиевого жидкого стекла характерно наличие высоты рельефа от 40 мкм до 65 мкм на площади, составляющей 40 % от измеряемой, а для покрытий на основе калиевого полисиликатного раствора – от 64 до 35 мкм.

Вследствие большего значения поверхностного натяжения калиевого полисиликатного раствора качество поверхности покрытия на их основе несколько хуже по сравнению с покрытиями на основе натриевого полисиликатного раствора. Так, значение шероховатости поверхности покрытий на основе натриевого полисиликатного раствора составляет $R_a=9,125$ мкм, а на основе калиевого полисиликатного раствора – 10,880 мкм на базе 30 мкм.

Таким образом, применение в качестве связующего полисиликатных растворов способствует получению покрытий с более высоким качеством внешнего вида.

В табл. 2 приведены значения свойств покрытий на основе калиевого полисиликатного раствора.

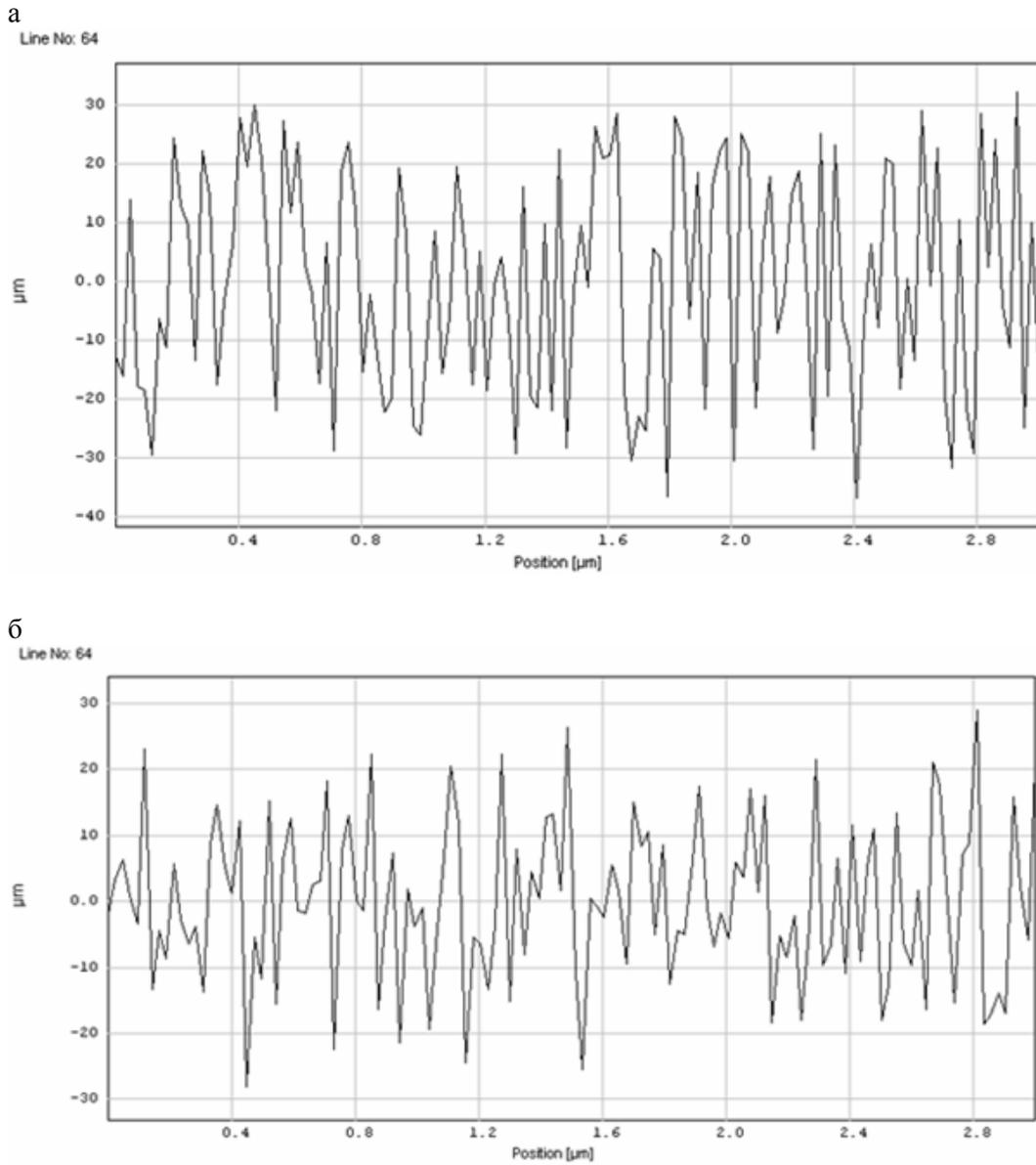


Рис.1. Шероховатость поверхности силикатных покрытий:
а – на основе калиевого жидкого стекла; б – на основе калиевого полисиликатного раствора

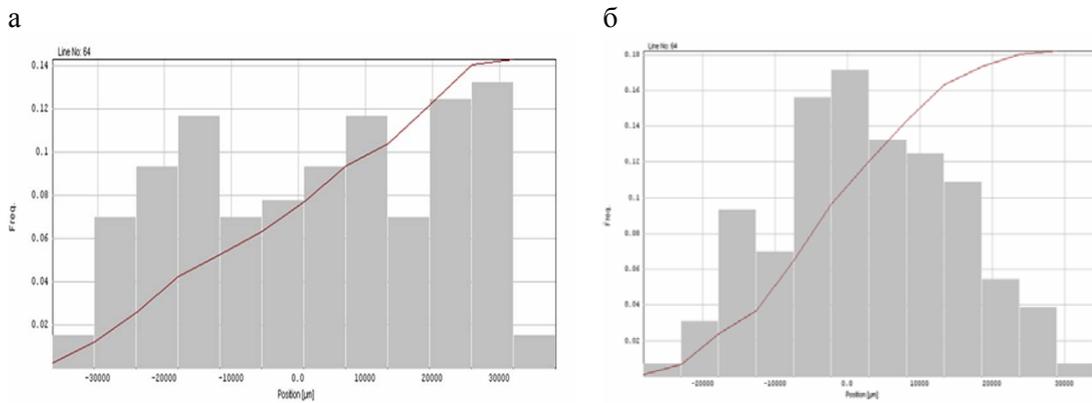


Рис. 2. Гистограмма распределения шероховатости поверхности покрытий:
а – на основе калиевого жидкого стекла; б – на основе калиевого полисиликатного раствора

Свойства красочного состава и покрытий на его основе

Наименование показателей	Значения
Удобнонаносимость	хорошая
Вязкость по ВЗ-4, с	17-20
Усадка, налициетрещин	нет
Жизнеспособность, сутки	Более 90
Время высыхания, мин, до степени 5	15-25
Адгезия, баллы	1
Адгезия, МПа	1,1-1,3
Относительная твердость	0,5
Прочность при ударе кг·см	50
Смываемость, г/м ²	Не более 2
Водостойкость (внешний вид после 24 часов выдержки в воде)	Отсутствие белых матовых пятен, отслаивания, сыпи, пузырей и других разрушений

Краска образует покрытие, характеризующееся ровной однородной матовой поверхностью. Анализ данных, приведенных в табл. 2, свидетельствует, что по своим свойствам краска и покрытия на ее основе соответствуют требованиям, предъявляемым к покрытиям для наружной отделки зданий, обладают более высокой адгезией, достаточной паропроницаемостью

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. 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.
3. Айлер, Р. Химия кремнезема: в 2 т. / Р. Айлер. – М.: Мир, 1982.
4. Получение и применение гидрозолей кремнезема / под ред. проф. Ю.Г. Фролова // Труды МХТИ им. Менделеева. – М., 1979. – С. 37.
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.
6. Свойства модифицированного связующего для силикатных красок / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, В.С. Демьянова, Е.Б. Мажитов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №4(33). – С.17–23.
7. Логанина, В.И. Свойства полисиликатных связующих для золь-силикатных красок / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2018. – Вып. 51(70). – С.78–82.
8. Чижик, С.А., Методы сканирующей зондовой микроскопии в микро- и наномеханике / С.А. Чижик, С.В. Сыроежкин // Приборы и методы измерений. – 2010. – № 1. – С.85–94.
9. Миронов, В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В.Л. Миронов. – Н. Новгород: Химия, 2004. – С. 376.
10. Бухараев, А.А. Диагностика поверхности с помощью сканирующей силовой микроскопии / А.А. Бухараев, А.А. Овчинников // Заводская лаборатория. – 2004. – No5. – С. 10–27.
11. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.

12. ГОСТ Р 8.700-2010 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методика измерений эффективной высоты шероховатости поверхности с помощью сканирующего зондового атомно-силового микроскопа.

References

1. Korneev, V.I. Production and use of soluble glass / V.I. Korneev, V.V. Danilov. – L.: Stroiizdat, 1991. – 176 p.
2. 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.
3. Ailer P. Chemistry of silica: in 2 vol. / P. Ailer. – M: Mir, 1982.
4. Preparation and use of silica hydrosols / ed. prof. Yu.G. Frolova // Proceedings of the Moscow Art Theater. Mendeleev. – M., 1979. – P. 37.
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.
6. Properties of the modified binder for silicate paints / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, V.S. Demyanova, E.B. Majitov // Regional architecture and engineering. – 2017. – №4 (33). – P.17–23.
7. Loganina, V.I. Properties of polysilicate binders for sol silicate paints / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, E.B. Mazhitov // Vestnik VolgGASU Series: Construction and Architecture. – 2018. – Issue 51 (70). –P.78–82.
8. Chizhik, S.A. Methods of scanning probe microscopy in micro- and nanomechanics / S.A. Chizhik, S.V. Syroezhkin // Devices and measurement methods. – 2010. – № 1. – P.85–94.
9. Mironov, V.L. Basics of scanning probe microscopy / V.L. Mironov. – N. Novgorod: Chemistry, 2004. – P. 376.
10. Bukharaev, A.A. Surface diagnostics with the help of scanning force microscopy / A.A. Bukharaev, A.A. Ovchinnikov // Factory laboratory. – 2004. – No5. – P. 10–27.
11. GOST 2789-73. Roughness of the surface. Parameters and characteristics.
- 12 GOST R 8.700-2010 State system for ensuring the uniformity of measurements. Methods of surface roughness effective height measurements by means of scanning probe atomic force microscope.

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 Bisengaliyevich,
Postgraduate
E-mail: mazhitov201090@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ЗОЛЬ-СИЛИКАТНЫХ ПОКРЫТИЙ

В.И. Логанина, Е.Б. Мажитов

Приведены сведения о свойствах золь-силикатной краски на основе калиевого полисиликатного связующего. Показано, что структура покрытия на основе полисиликатного связующего характеризуется более равномерным распределением пор по размерам. Приведены значения проницаемости покрытия.

Ключевые слова: полисиликатное связующее, покрытия, структура, проницаемость

INVESTIGATION OF SOL SILICATE COATINGS PERMEABILITY

V.I. Loganina, E.B. Mazhitov

Information on the properties of sol-silicate paint based on the potassium polysilicate binder is presented. It is shown that the structure of the coating based on the polysilicate binder is characterized by a more uniform pore size distribution. The permeability values of the coating are given.

Keywords: polysilicate binder, coatings, structure, permeability

В практике отделочных работ хорошо зарекомендовали себя силикатные краски, применяемые в том числе и для отделки фасадов зданий. Срок службы таких покрытий составляет 5–6 лет. С целью повышения срока службы силикатных покрытий предложена модификация пленкообразующего – жидкого стекла – полимерными добавками (дисперсиями, кремнийорганическими соединениями и др.) [1–3]. В работах [4, 5] предложено использовать в качестве связующего в силикатных красках полисиликатные растворы, имеющие силикатный модуль от 4 до 25. Нами разработан состав краски на основе полисиликатного связующего, полученного смешиванием жидкого стекла с золем кремниевой кислоты [6, 7]. Было установлено, что покрытия на основе полисиликатных растворов характеризуются более быстрым отверждением. Пленки на основе полисиликатных растворов обладают более высокой когезионной прочностью. Прочность при растяжении пленки на основе калиевого жидкого стекла составляет $R_p = 0,392$ МПа, а прочность при растяжении пленки на основе полисиликатного раствора (15 % Nanosil 20) – 1,1345 МПа. Увеличение прочности, на наш взгляд, обусловлено увеличением доли высокополимерных фракций кремнекислородных анионов (ККА) в структуре полисиликатного связующего по сравнению с жидким стеклом [8]. Для изучения структуры жидких стекол применяли молибдатный метод, основанный на различной скорости взаимодействия мономерных, олигомерных и полимерных ККА с молибденовой кислотой [9–11]. Нами установлено, что с увеличением содержания золя доля полимерной формы кремнезема возрастает. В калиевом

полисиликатном растворе содержание полимерной формы кремнезема γ -SiO₂ составляет 19,93 % при содержании золя 15 %, а в калиевом жидком стекле – 2,511 %.

Вязкость разработанных красочных составов составляет 17–20с по ВЗ-4, время 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 часов.

В продолжение дальнейших исследований была проведена оценка проницаемости покрытий в соответствии с ГОСТ 25898-2012 «Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию» (ISO 12572:2001, NEQ) и ГОСТ 33355-2015 (ISO 7783:2011) «Материалы лакокрасочные. Определение характеристик паропроницаемости. Метод чашки», поскольку этот показатель связан с адгезией, устойчивостью к мокрому истиранию, грязеудержанием и т.п. В работе применяли натриевое жидкое стекло с модулем М=2,78, калиевое жидкое стекло с модулем М=3,29. В качестве наполнителя использовали 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).

Для получения полисиликатного связующего применяли золи кремниевой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30, выпускаемые ПК «Промстеклоцентр». Характеристики кремнезольей приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

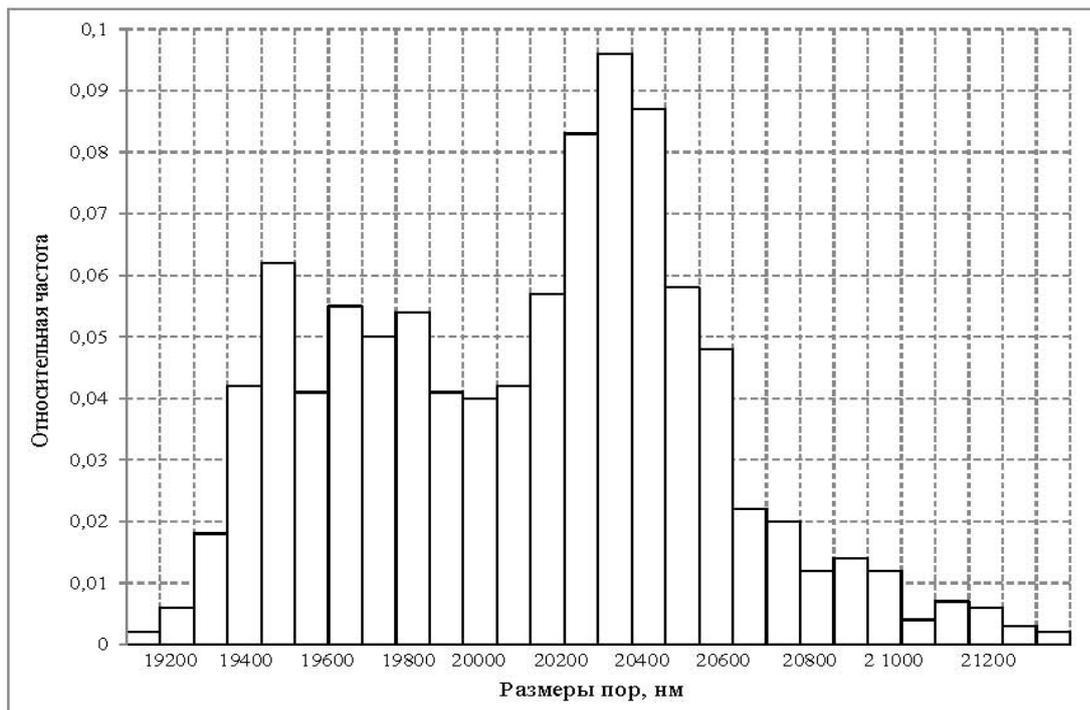
Характеристики кремнезольей

Наименование показателей	Nanosil 20	Nanosil 30
рН	9–10,8	9–10,6
Массовая концентрация диоксида кремния, г/л	220–237	329–362
Массовая концентрация оксида натрия, г/л	3–7	2,5–6,5
Силикатный модуль	50–90	55–100
Площадь удельной поверхности	220–370	220–300

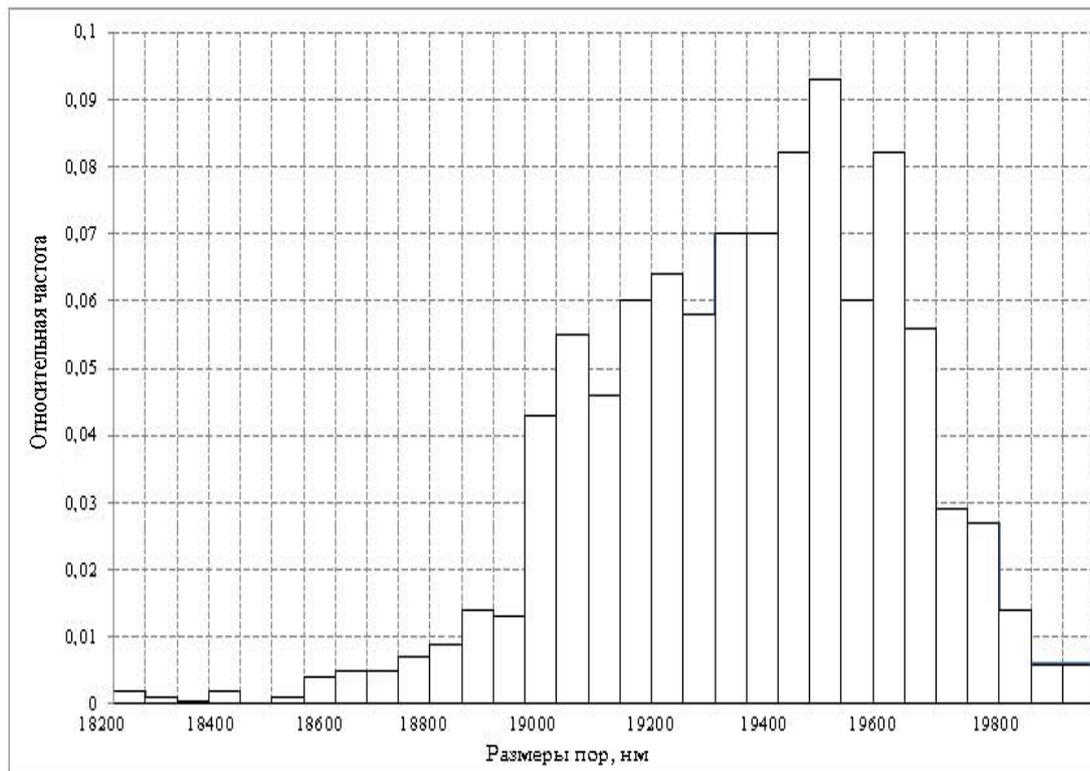
Установлено, что коэффициент паропроницаемости покрытий на основе калиевого полисиликатного связующего, определенный в соответствии с ГОСТ 25898-2012, составляет 0,00878 мг/м·чПа, а на основе калиевого жидкого стекла – 0,00272 мг/м·чПа. В процессе проведения эксперимента было установлено, что плотность потока водяных паров через силикатное покрытие на основе калиевого полисиликатного связующего составляет 6552,28 мг/ч·м², на основе калиевого жидкого стекла – 6481,19 мг/ч·м². В стационарных условиях массовая скорость потока водяного пара через образец покрытия на основе калиевого жидкого стекла составляет 0,0165 г/час, а на основе калиевого полисиликатного связующего – 0,0182 г/час. Стационарные условия для потока водяных паров через покрытия на основе полисиликатного раствора наступают значительно раньше (через 200 ч) по сравнению с покрытиями на основе калиевого жидкого стекла (через 500 ч). Увеличение числовых значений коэффициента паропроницаемости и скорости потока водяного пара через образцы покрытий на основе полисиликатных связующих свидетельствуют об изменении их поровой структуры по сравнению с покрытиями на основе жидкого стекла.

Для оценки локальной структуры поверхности покрытий применяли методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) [12].

а



б



Гистограмма распределения диаметра пор покрытий:
 а – на основе калиевого полисиликатного раствора;
 б – на основе калиевого жидкого стекла

Установлено, что поверхность покрытий на основе калиевого жидкого стекла содержит определенное количество пор нанометрического диапазона, отличающихся друг от друга по размерам и форме. Максимальный размер пор составляет 19,8 мкм. В основном присутствуют поры с диаметром от 18,5 до 19,6 мкм (см. рисунок б), в то время как в покрытии на основе калиевого полисиликатного раствора присутствуют

две группы пор: от 19,25 до 19,8 мкм и от 20,0 до 20,6 мкм. Значение максимального размера пор составляет 21,2 мкм. Анализ гистограммы (см. рисунок а) показывает, что в покрытии на основе полисиликатного раствора наблюдается более равномерное распределение пор по размерам.

В табл. 2 приведены значения свойств покрытий на основе калиевого полисиликатного раствора.

Т а б л и ц а 2

Свойства красочного состава и покрытий на его основе

Наименование показателей	Значения
Удобнонаносимость	хорошая
Вязкость по ВЗ-4, с	17-20
Усадка, наличие трещин	нет
Жизнеспособность, сутки	Более 90
Время высыхания до степени 5, мин	15-25
Адгезия, баллы	1
Адгезия, МПа	1,1-1,3
Коэффициент паропроницаемости, мг/м·чПа	0,00878
Относительная твердость	0,45
Прочность при ударе, кг·см	50
Смываемость, г/м ²	Не более 2
Водостойкость (внешний вид после 24 часов выдержки в воде)	Отсутствие белых матовых пятен, отслаивания, сыпи, пузырей и других разрушений

Анализ данных, приведенных в табл. 2, свидетельствует, что по своим свойствам краска и покрытия на ее основе соответствуют требованиям, предъявляемым к покрытиям для наружной отделки зданий, обладают более высокой адгезией, достаточной паропроницаемостью.

Список литературы

1. Фиговский, О.Л. Применения нанотехнологий в строительных материалах / О.Л. Фиговский, Д.А. Бейлин, А.Н. Пономарев // Нанотехнологии в строительстве. – 2012. – №3. – С. 6–21.
2. 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.
3. Фиговский, О.Л. Наноструктурированный силикатный полимерный бетон / О.Л. Фиговский, Д.А. Бейлин // Вестник МГСУ. – 2014. – №3. – С. 197–204.
4. Корнеев, В.И. Производство и применение растворимого стекла / В.И. Корнеев, В.В. Данилов. – Л.: Стройиздат, 1991. – 176 с.
5. Айлер, Р. Химия кремнезема: в 2 т. / Р. Айлер. – М.: Мир, 1982.
6. 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.
7. Свойства модифицированного связующего для силикатных красок / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, В.С. Демьянова, Е.Б. Мажитов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №4(33). – С.17–23.
8. Логанина, В.И. Свойства полисиликатных связующих для золь-силикатных красок / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2018. – Вып. 51(70). – С.78–82.

9. РД 52.24.433-2005. Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. МВИ фотометрическим методом в виде желтой формы молибдокремниевой кислотой. – ГУ ГХИ, 2005. – 13 с.
10. HDPE F 14.1: 2: 4.215-06. Метод измерения массовой концентрации кремниевой кислоты (в пересчете на кремний) в питьевых, поверхностных и сточных водах в фотометрическом методе в виде желтого кремнезем-молибденового гетерополикислоты. – СПб.: Центр водных исследований и контроля, 2006. – 10 с.
11. Грассофф, К. Об определении кремнезема в морской воде / К. Грассофф // *Deep-Sea Res.* – 1964. – Vol. 11, N4. – P. 74–81.
12. Чижик, С.А. Методы сканирующей зондовой микроскопии в микро- и наномеханике / С.А. Чижик, С.В. Сыроежкин // *Приборы и методы измерений.* – 2010. – № 1. – С.85–94.

References

1. Figovsky, O.L. Advances in the Application of Nanotechnology in Building Materials / O.L. Figovsky, D.A. Beilin, A.N. Ponomarev // *Nanotechnologies in Construction.* – 2012. – No3. – P. 6–21.
2. 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.
3. Figovsky, O.L. Nanostructured silicate polymer concrete / O.L. Figovsky, D.A. Beilin // *Bulletin MGSU.* – 2014. – N 3. – P. 197–204.
4. Korneev, V.I. Production and use of soluble glass / V.I. Korneev, V.V. Danilov. – L.: Stroizdat, 1991. – 176 p.
5. Ailer P. Chemistry of silica: in 2 vol. / P. Ailer. – M: Mir, 1982.
6. 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.
7. Properties of the modified binder for silicate paints / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, V.S. Demyanova, E.B. Majitov // *Regional architecture and engineering.* – 2017. – №4 (33). – P.17–23.
8. Loganina, V.I. Properties of polysilicate binders for sol silicate paints / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, E.B. Mazhitov // *VestnikVolgGASU Series: Construction and Architecture.* – 2018. – Issue 51 (70). – P.78–82.
9. RD 52.24.433-2005. Mass concentration of silicon in surface waters of the land. MVI photometric method in the form of a yellow form of molybdosilicic acid. – GU GUI, 2005. – 13 p.
10. HDPE F 14.1: 2: 4.215-06. Method for measuring the mass concentration of silicic acid (in terms of silicon) in drinking, surface and waste water in a photometric method in the form of a yellow silica-molybdenum heteropoly acid. – St. Petersburg: Center for Water Research and Control, 2006. – 10 p.
11. Grassoфф, K. On the determination of silica in seawater / K. Grassoфф // *Deep-Sea Res.* – 1964. – Vol. 11, N4. – P. 74–81.
12. Chizhik, S.A. Methods of scanning probe microscopy in micro- and nanomechanics / S.A. Chizhik, S.V. Syroezhkin // *Devices and measurement methods.* – 2010. – № 1. – P.85–94.

УДК 691.58

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Жегера Кристина Владимировна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: jegera@yandex.ru

Пышкина Ирина Сергеевна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: glazycheese@gmail.com

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Zhegera Christina Vladimirovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Quality management and
construction technologies»
E-mail: jegera@yandex.ru

Pyshkina Irina Sergeevna,
Candidate of Sciences, Assistant Professor of
the department «Information and Computing
Systems»
E-mail: glazycheese@gmail.com

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АМОРФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ В СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЯХ

К.В. Жегера, И.С. Пышкина

Приведены результаты исследования рынка сухих строительных смесей, выпускаемых на территории РФ. Установлено, что клеевые сухие строительные смеси пользуются наибольшим спросом. Представлена рецептура плиточного клея, содержащего в качестве модифицирующей добавки аморфные алюмосиликаты. Установлено, что синтезированные алюмосиликаты обладают высокой активностью. Проведена оценка технико-экономических показателей разработанной клеевой сухой строительной смеси. Доказано, что разработанная рецептура клеевой сухой строительной смеси является экономически эффективной.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, аморфные алюмосиликаты, плиточный клей, эффективность, себестоимость

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF AMORPHOUS ALUMOSILICATES APPLICATION IN DRY CONSTRUCTION MIXTURES

K.V. Zhegera, I.S. Pyshkina

The results of the market research of dry construction mixtures produced on the territory of the Russian Federation are given. It is established that glutinous dry building mixes are in great demand. The formulation of a tile adhesive having amorphous aluminosilicates as a modifying additive is presented. It has been established that synthesized aluminosilicates possess high activity. The estimation of technical and economic indicators of the developed adhesive dry construction mix was carried out. It is shown that the developed formulation of the adhesive dry construction mix is cost-effective.

Keywords: dry building mixtures, amorphous aluminosilicates, tile adhesive, efficiency, cost price

При отделке стен зданий и сооружений облицовочной плиткой, реставрации памятников архитектуры, производстве строительных и отделочных работ в России так же, как и во многих других странах, применяют модифицированные сухие строительные смеси (ССС). Основными преимуществами применения СССР является простота их использования и высокие технологические и эксплуатационные показатели [1–4].

Сухие строительные смеси представляют собой модифицированный мелкозернистый строительный материал, в состав которого входят минеральные вяжущие (цемент, известь, гипс, редисперсионные полимерные составы), наполнители с оптимальной гранулометрией и определенного фракционного состава, а также необходимые химические модифицирующие добавки [5, 6].

На территории РФ действует более 200 предприятий, которые производят сухие строительные смеси как общестроительного, так и специального (гидроизоляция, теплоизоляция и др.) назначения. Наибольшая концентрация предприятий наблюдается в Центральном (61 %) и Северо-Западном (15 %) федеральных округах (ФО), так как в данные ФО входят города федерального значения – Москва и Санкт-Петербург (рис. 1).

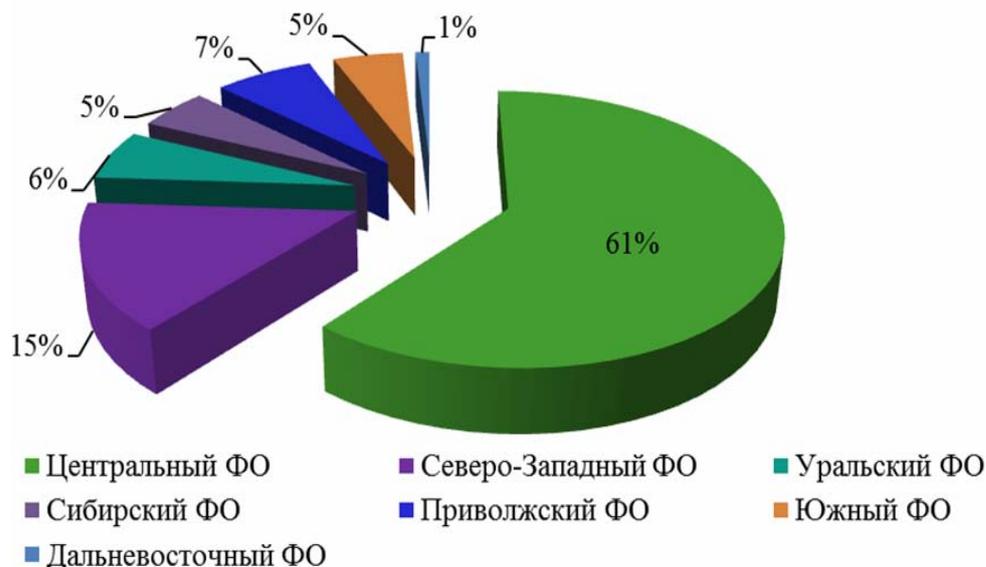


Рис. 1. Доли внутреннего объема производства сухих строительных смесей на территории РФ по федеральным округам (Агентство маркетинговых исследований «SYMBOL-MARKETING») [7]

Рынок производства сухих строительных смесей различного назначения становится все более конкурентоспособным и согласно статистике объемы производства ССС в России увеличиваются. Наиболее распространенными среди модифицированных ССС являются клеевые смеси, составляющие более 40 % от общего объема производства (рис. 2).

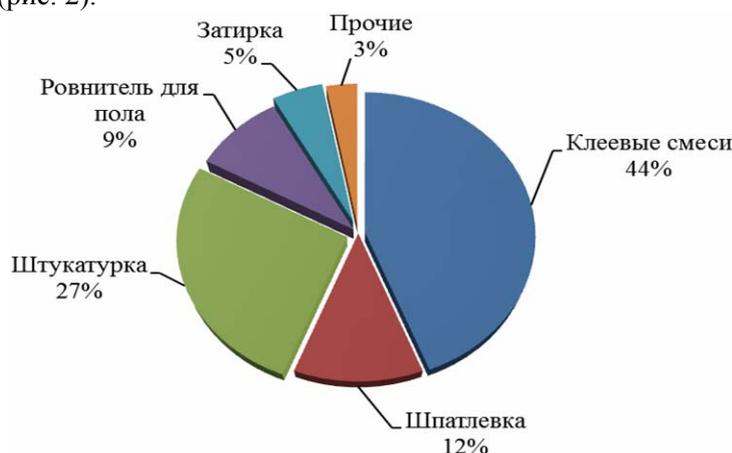


Рис. 2. Структура рынка сухих строительных смесей в России (Агентство маркетинговых исследований «SYMBOL-MARKETING») [7]

Среди группы клеевых смесей наиболее распространены плиточные клеи на цементной основе, используемые для наружных и внутренних работ и предназначенные

для облицовки поверхностей стен и пола любыми видами керамической плитки, плитки из мрамора и природного камня, мозаики и т.п. [8].

На рис. 3 представлены отечественные производители клеевых сухих строительных смесей и их доля на рынке. Выявлено, что на данный момент лидируют по объемам выпуска и реализации плиточного клея такие производители, как Кнауф (14,5%), Юнис (8,3%) и Старатели (4,7%), которые хорошо зарекомендовали себя за счет выпуска продукции стабильного качества.

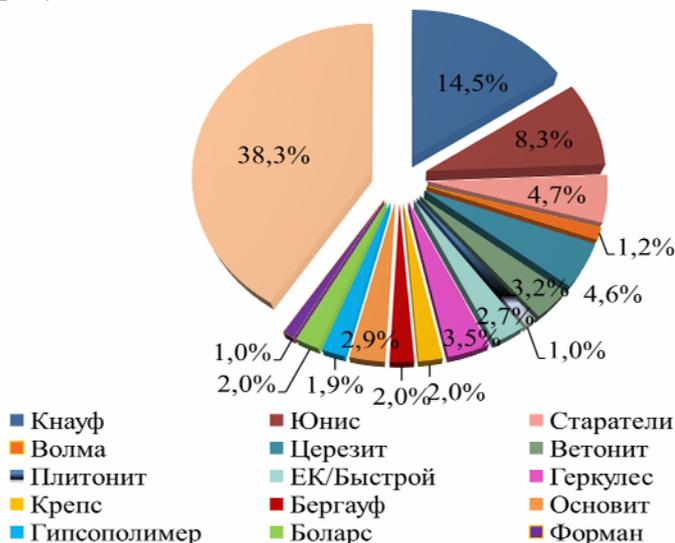


Рис.3. Доли отечественных производителей клеевых сухих строительных смесей в России (Агентство маркетинговых исследований «SYMBOL-MARKETING») [7]

Для улучшения реологических и технологических свойств клеевых составов в их рецептуру вводятся дорогостоящие добавки. Введение multifunctional добавок в рецептуру ССС позволяет управлять технологическими, физико-механическими и эксплуатационными свойствами ССС, появляется возможность регулировать их реологические свойства, повысить водоудерживающие свойства, замедлить сроки схватывания, за счет чего появляется возможность увеличить жизнеспособность растворов, которые готовятся в условиях строительства.

С целью расширения сырьевой базы и снижения стоимости сухих строительных смесей разработана модифицирующая добавка на основе аморфных алюмосиликатов.

Добавку на основе аморфных алюмосиликатов получали осаждением алюмосиликатов из жидкого натриевого стекла с силикатным модулем 2,8 путем введения 15 %-го раствора технического сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$ с последующим промыванием полученного осадка дистиллированной водой. Полученный осадок высушивали при температуре $100^\circ C$ до постоянной массы и измельчали до удельной поверхности $S_{уд}=688,6 \text{ м}^2/\text{кг}$ [9].

Физико-химические показатели минеральной добавки на основе аморфных алюмосиликатов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Физико-химические показатели минеральной добавки

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Внешний вид	Порошок белого цвета
2	Активность, мг/г	350
3	Удельная поверхность $S_{уд}$, $\text{м}^2/\text{кг}$	688,6
4	Плотность насыпная, $\text{кг}/\text{м}^3$	568,2
5	Плотность истинная, $\text{кг}/\text{м}^3$	2140

Исходя из ранее полученных результатов исследований [9] разработанную модифицирующую добавку предложено использовать в рецептуре клеевой сухой строительной смеси, применяемой в качестве плиточного клея для выполнения отделки фасадов и внутренних стен зданий облицовочной плиткой. Предлагаемая рецептура плиточного клея содержит: портландцемент, кварцевый песок, пластификатор Кратасол ПФМ, релаксифицируемый порошок NeolithP 4400 и в качестве структурообразующей добавки – добавку на основе аморфных алюмосиликатов.

Клеевой слой на основе разработанной ССС характеризуется прочностью сцепления на отрыв $R_{адг} > 1,4$ МПа, прочностью сцепления при сдвиге $R_{сдв} = 0,92$ МПа, когезионной прочностью $R_{ког} = 2,2$ МПа, маркой по морозостойкости F50, морозостойкостью контактной зоны $F_{кз} 50$, водопоглощением при капиллярном подсосе $1,43 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5}$.

Проведена оценка технико-экономических показателей производства клеевой сухой строительной смеси.

Для расчета калькуляции себестоимости производства клеевой ССС учитывались показатели, представленные в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Показатели для расчета себестоимости клеевой ССС

№ п/п	Показатель	Значение показателя
1	Количество рабочих	7 чел
2	Количество смен	2
3	Длительность смены	8 ч
4	Производительность оборудования	8000 т/год
5	Установленная мощность оборудования	60 кВт/ч

Плиточный клей, изготовленный на основе разработанной рецептуры клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов, опробован в лабораторных и производственных условиях. Калькуляция себестоимости изготовления клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов по рецептуре приведена в табл. 3. Стоимость материалов, используемых при производстве клеевой ССС, принята по ценам 2017 года.

Т а б л и ц а 3

Калькуляция себестоимости клеевой ССС

№ п/п	Наименование затрат	Единица измерения	Цена за единицу измерения, руб.	с кварцевым песком	
				Норма расхода на калькуляционную единицу	Затраты на калькуляционную единицу, руб.
1	Сырье и материалы				
	Портландцемент	т	4200	0,31050	1304,1
	Песок	т	180	0,62100	111,78
	Сульфат алюминия	т	1800	0,01530	27,54
	Жидкое стекло	т	20 000	0,05360	1072
	Пластифицирующая добавка	т	63 300	0,00320	202,56
	Релаксифицируемый порошок	т	258 200	0,00320	826,24
	Итого:	руб.			3544,22
2	Вспомогательные материалы	руб.			600
3	Амортизация основного оборудования	руб.			120,00

По данным табл. 3, себестоимость 1 кг клеевой сухой строительной смеси разработанной рецептуры составила 4,98 руб.

Оценку экономической эффективности результатов исследований проводили путем сравнения рыночной стоимости клеевой ССС разработанной рецептуры и клеевых ССС известных производителей.

За рыночную стоимость клеевой ССС разработанной рецептуры принимали ее себестоимость, прибавив к ней 30 %. Результаты оценки представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Рыночная стоимость ССС

№	Наименование производителя	Единица измерения	Стоимость, руб.
1	Разработанная рецептура ССС	кг	6,47
2	ЮНИС	кг	11,12
3	Старатели	кг	7,96
4	Кнауф	кг	10,46
5	Ceresit	кг	10,24

Как видно из табл.4, разработанная рецептура клеевой ССС является экономически эффективной. Так, стоимость 1 кг разработанной клеевой ССС составляет 6,47 руб, что на 23,03 % ниже стоимости плиточного клея марки Старатели, на 63,18 % ниже стоимости плиточного клея марки Ceresit, на 61,67 % ниже стоимости плиточного клея марки Кнауф и на 73,26 % ниже рыночной стоимости плиточного клея марки Юнис.

Список литературы

1. Шангина, Н.Н. Особенности производства и применения сухих строительных смесей для реставрации памятников архитектуры / Н. Н. Шангина, А. М Харитонов // Сухие строительные смеси. – 2011. – №4. – С.16–19.
2. Loganina, V.I. The lime compositions for the restoration and decoration of buildings / V.I. Loganina, M.A. Sadovnikova // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. –Т. 11. – № 11. – P. 7537–7540.
3. Садовникова, М.А. Исследование свойств добавки на основе синтетических цеолитов для известковых сухих строительных смесей / М.А. Садовникова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: сб. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – 2016. – С. 1381–1383.
4. Логанина, В.И. Оценка прочности сцепления известково-перлитовой сухой строительной смеси с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, А.Д. Рыжов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016.– № 3 (687). – С. 38–42.
5. Zhegera, K.V. Application of amorphous aluminosilicates as a modifying additive in the recipe of a cementitious adhesive for tiles / K.V. Zhegera // Modern Science. – 2017. – № 4-1. – С. 65–68.
6. Способ получения добавки на основе гидросиликатов кальция для сухих строительных смесей / И.С. Пышкина, К.В. Жегера, А.В. Жуланов, Н.Ю. Елизаров // Приволжский научный журнал. – 2017. – № 4 (44). – С. 81–86.
7. Николаева, А.А. Маркетинговые исследования рынка строительных материалов, конструкций и изделий в Республике Татарстан / А.А. Николаева // Молодой ученый. – 2014. – №15. – С. 190–192.
8. Ботка, Е.Н. Рынок сухих строительных смесей России. Итоги и перспективы / Е.Н. Ботка // СтройПРОФИ. – 2014. – № 5 (21). – С. 46–47.
9. Логанина, В.И. Реологические свойства плиточного клея с применением синтезированных алюмосиликатов / В.И.Логанина, К.В.Жегера // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 1 (33). – С. 46–50.

References

1. Shangina, N.N. Features of the production and use of dry construction mixtures for the restoration of monuments of architecture / N.N. Shangina, A. M. Kharitonov // *Dry mixes*. – 2011. – No 4. – P.16-19.
2. Loganina, V.I. The lime compositions for the restoration and decoration of buildings / V.I. Loganina, M.A. Sadovnikova // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2016. – T. 11. – No 11. – P. 7537–7540.
3. Sadovnikova, M.A. Investigation of the properties of the additive on the basis of synthetic zeolites for isvestkovykh dry construction mixtures // *International scientific and technical conference of young scientists BSTU V.G. Shukhova: collection*. – Belgorod Belgorod: State Technological University V.G. Shukhov, 2016. – P. 1381–1383.
4. Loganina, V.I. Evaluation of the adhesion strength of the lime-perlite dry construction mixture using synthesized aluminosilicates / V.I. Loganina, A.D. Ryzhov // *News of Higher Educational Institutions. Building*. – 2016. – No. 3 (687). – P. 38–42.
5. Zhegera, K.V. Application of amorphous aluminosilicates as a modifying additive in the recipe of a cementitious adhesive for tiles / K.V. Zhegera // *Modern Science*. – 2017. – No. 4–1. – P. 65–68.
6. Method for the preparation of an additive based on calcium hydrosilicates for dry construction mixtures / I.S. Pyshkina, K.V. Zhegera, A.V. Zhulanov, N.Yu. Elizarov // *Privolzhsky Scientific Journal*. – 2017. – No. 4 (44). – P. 81–86.
7. Nikolaeva, A.A. Marketing research of the market of building materials, structures and products in the Republic of Tatarstan / AA Nikolaeva // *Young Scientist*. – 2014. – No. 15. – P. 190–192.
8. Botka, E.N. The market of dry building mixtures of Russia. Results and prospects / E.N. Botka // *StroyPROFI*. – 2014. – No. 5 (21). – P. 46–47.
9. Loganina, V.I. Rheological properties of tile glue with the use of synthesized aluminosilicates / V.I. Loganina, K.V. Zhegera // *Privolzhsky scientific journal*. – 2015. – No. 1 (33). – P. 46–50.

УДК 006:502.173:691

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

Карпова Ольга Викторовна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Управление качеством и
технология строительного производства»
E-mail: olga_viktorovna_60@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

Karpova Olga Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department "Quality Management and
Technology of Building Production"
E-mail: olga_viktorovna_60@mail.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ – ГАРАНТИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ОТДЕЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.В. Карпова

Дается обзор состояния российского рынка строительных и отделочных материалов с точки зрения их экологической безопасности, приводятся критерии оценки экологической чистоты материалов. Рассматривается состояние экологической сертификации строительных материалов за рубежом. Описываются организация работ российских систем экологической сертификации строительных и отделочных материалов, знаки маркировки этих систем для содействия потребителям в компетентном выборе продукции и повышения экологической грамотности населения.

Ключевые слова: строительные и отделочные материалы, экологическая сертификация, безопасность, система добровольной сертификации, аудиторы, знак экологической маркировки

ECOLOGICAL CERTIFICATION – A GUARANTEE OF BUILDING AND FINISHING MATERIALS SAFETY

O.V. Karpova

The review of the Russian market of building and finishing materials is given in terms of their ecological safety, criteria for assessing the environmental purity of materials are given. The state of affairs in the field of ecological certification abroad is considered. The organization of works in Russian systems of ecological certification of building and finishing materials, marks of these systems consumers to choice the right product and increase ecological competence of the population is described.

Keywords: building and finishing materials, ecological certification, safety, voluntary certification system, auditors, ecolabel mark

В соответствии с Конституцией Российской Федерации каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам, которые являются основой устойчивого развития, жизни и деятельности народов, проживающих на территории Российской Федерации.

Одним из главных принципов создания здоровой, экологически чистой среды обитания является возведение строений, которые не наносят вреда окружающей среде. Так как современный человек около 80 % своего времени проводит в зданиях или на пути между ними, то становится ясно, насколько качество и безопасность строительных и отделочных материалов влияют на здоровье и качество жизни человека. Кроме того, по оценкам экспертов, около 50 % всего объема отходов приходится на строительную индустрию, а производство отдельных строительных материалов яв-

ляется энергозатратным и связано с выделением в атмосферу вредных веществ. Экологический подход должен характеризовать и проектирование, и строительство, и эксплуатацию здания. При проектировании, например, такой подход необходимо соблюдать при разработке объемно-планировочных и конструктивных решений, при выборе материалов для строительства, при определении технологии возведения и т.д. [1]. Однако если при массовом строительстве экологичность принятых проектных решений отслеживается в процессе проведения государственной или негосударственной экспертизы, то при индивидуальном строительстве это сделать сложнее.

На рынке строительных и отделочных материалов ежегодно появляется множество разнообразной продукции, причем производитель выходит на рынок для удовлетворения в первую очередь своих интересов и потребностей, мало заботясь о потребностях покупателя в экологически чистой продукции. Выбирая товар, покупатель может рассчитывать на свой личный опыт, субъективное суждение, советы знакомых и гарантии продавца. Однако номенклатура товаров расширяется с каждым годом, а появление новых технологий опережает приобретаемый потребителем опыт. Защитить потребителя от недобросовестности производителя и продавца, от опасной или фальсифицированной продукции призвано подтверждение соответствия, целями которого являются: удостоверение соответствия продукции, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ, услуг или иных объектов техническим регламентам, документам по стандартизации, условиям договоров; содействие приобретателям, в том числе потребителям, в компетентном выборе продукции, работ, услуг; повышение конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках; создание условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории Российской Федерации, а также для осуществления международного экономического, научно-технического сотрудничества и международной торговли [2].

Одной из форм подтверждения соответствия является сертификация, которая затрагивает интересы противоположных сторон (производителя, с одной стороны, и потребителя, с другой). Эта процедура выступает в роли своеобразного арбитра, так как для получения объективной оценки качества и безопасности продукции привлекается третья сторона, компетентность, независимость и объективность которой признаны официально.

Экологическая сертификация проводится в целях обеспечения экологически безопасного осуществления хозяйственной и иной деятельности на территории Российской Федерации [3]. Поэтому именно эта процедура призвана защитить потребителя от опасной продукции, предоставить достоверную, объективную и точную информацию о ее качестве и экологической безопасности, освобождая покупателя от необходимости самостоятельно проводить сложную и трудоемкую процедуру оценки товара. С помощью экологической сертификации решается ряд важнейших задач по обеспечению рационального использования природных богатств, охраны окружающей среды и здоровья людей от вредного воздействия экологически потенциально опасной продукции или услуг.

По результатам сертификации производителю дается право наносить на продукцию или ее упаковку, на техническую и сопроводительную документацию соответствующую маркировку, по которой покупатель, не являющийся профессиональным строителем, экологом или материаловедом, имеет возможность определить уровень экологичности товара, а значит, сделать осознанный выбор продукции.

Что касается рынка строительных и отделочных материалов, только 30 % их экологически безопасны, но при этом рынок переполнен продуктами, отмеченными «зеленой» маркировкой, то есть такими значками, как «эко», «био», «органик», «100 % натуральный» [4].

На сегодняшний день материал считается экологически чистым, если:

- не выделяет токсичных и раздражающих веществ;
- имеет минимальную естественную радиоактивность;

- производится по технологиям, оказывающим минимальный вред окружающей среде и персоналу предприятия;
- перерабатывается и повторно используется;
- при вторичном использовании не становится опасным для здоровья и окружающей среды [5].

С точки зрения влияния на здоровье человека и окружающую среду наименее желательны для применения в качестве строительных и отделочных материалов металлы, в следующую группу входят бетон, композитные материалы, стекло, различные пластики, более предпочтительны глиняный кирпич, мягкие камни осадочного происхождения. Наилучшими считаются материалы биогенного происхождения – дерево, солома и другие растительные материалы, необожженные грунтоблоки и т.д. Поэтому сейчас снова становятся популярными на Западе и у отечественных индивидуальных застройщиков традиционные материалы, такие, как древесина, кирпич, натуральный камень, глиняная и известково-песчаная черепица.

В настоящее время страны Европы стремятся выработать единые стандарты для сертификации строительных и отделочных материалов. Но пока данная система не вступила в действие, в каждой стране применяются национальные системы сертификации. В Германии, например, существуют системы обязательной и добровольной сертификации строительных материалов. При обязательной сертификации в соответствии с законодательными актами Германии гарантией безопасности и экологичности продукции является полученный на нее производителем сертификат соответствия «Ü» или право на маркировку товара знаком «СЕ», принятым в странах ЕС. При проведении процедуры добровольной сертификации приглашаются авторитетные независимые эксперты, например специалисты баварской компании Landesgewerbeanstalt Bayern – «LGA», оценивающие качество материалов, а также их влияние на здоровье человека и на окружающую среду. Высокая репутация данной фирмы становится гарантией качества и экологической безопасности. В США и Канаде также существуют фирмы, занимающиеся экологической сертификацией строительных и отделочных материалов, при этом к ним обращается производитель. В США такие организации, как правило, специализируются на узком ассортименте строительной продукции: существуют лаборатории, которые исследуют только пластмассы, применяемые в строительстве, либо только материалы, используемые для внутренней отделки помещений. В свою очередь, застройщики предпочитают использовать только сертифицированные строительные материалы, чтобы избежать возможных исков по поводу причинения вреда здоровью от строителей или от владельцев здания [5].

Обязательное подтверждение соответствия в России осуществляется на соответствие техническим регламентам, в которых приводятся требования по безопасности продукции. Несколько лет тому назад публично обсуждались два технических регламента «О безопасности строительных материалов и изделий» и «О безопасности зданий и сооружений». Однако был принят и в настоящее время действует только последний.

В Российской Федерации национальной системы обязательной экологической сертификации нет, однако есть системы добровольной сертификации. Сертификация в строительной отрасли призвана решать вопросы, которые касаются защиты интересов и прав потребителей. Процедура сертификации строительных материалов проводится для того, чтобы строительство не навредило здоровью, не нанесло вред жизни тех, кто будет жить в возводимом здании, помещении. Экологическая защита окружающей среды и экологическая чистота материалов также входят в компетенцию сертификации строительных материалов. Поэтому большинство производителей, несмотря на то что сертификация строительных материалов не требуется, всё же сертифицируют свою продукцию в системах добровольной сертификации, так как при участии в тендерах приоритет отдается тем участникам, у которых есть сертификат на строительные материалы.

Одной из таких систем является система добровольной экологической сертификации продукции, работ и услуг по их жизненному циклу «Листок жизни» (система «Листок жизни»).

НП «Экологический союз» (Санкт-Петербург) разработал и ввел в действие стандарты организации (СТО), на соответствие которым может быть проведена экологическая сертификация строительных и отделочных материалов в данной системе:

- СТО-56171713-009-2015 Поливинилхлоридные напольные покрытия;
- СТО ЛЖ 1.05.5760-11-1.0 Теплоизоляционные материалы;
- СТО ЛЖ 1.10.5742-11-1.0 Листы гипсокартонные и гипсоволокнистые;
- СТО ЛЖ 1.11.5745-11-1.0 Сухие строительные смеси;
- СТО 56171713-001-2014 Стекло листовое;
- СТО-56171713-010-2016 Напольные покрытия из древесины;
- СТО ЛЖ 1.14.5772-13-1.0 Профили поливинилхлоридные;
- СТО-56171713-006-2015 Материалы лакокрасочные;
- СТО-56171713-015-2017 Блоки оконные.

Основными критериями разработанных стандартов являются: отказ от использования в качестве сырьевых компонентов опасных веществ (канцерогенных, мутагенных, токсичных); снижение потребления ресурсов (энергии, воды), выбросов в атмосферу и образования отходов; грамотная утилизация отходов и увеличение количества используемого вторичного сырья; информирование персонала и повышение экологической ответственности. По результатам сертификации на соответствие одному из приведенных выше стандартов изготовителю дается право маркировать свою продукцию знаком экологической маркировки «Листок жизни» [6].

Данная система не сосредоточена только на сертификации строительных и отделочных материалов, но в 2010 году Национальное бюро экологических стандартов и рейтингов (НБЭСР) и ведущий экологический аудитор России – группа компаний EcoStandard — разработали новый стандарт экологически безопасных строительных и отделочных материалов – стандарт EcoMaterial. Он был создан в соответствии с законодательной базой РФ, учитывает рекомендации Всемирной организации здравоохранения, US GBC (Совет по зеленому строительству США), требования международных регламентов REACH и CLP, отвечает стандартам экологического менеджмента ISO 14000 и региональным европейским методикам с учетом правовых и рыночных особенностей России [7].

Однако с 2010 года содержание данного стандарта претерпело ряд изменений: первая версия стандарта (EcoMaterial 1.0) и последующие его версии (EcoMaterial 1.1, 1.2) утратили силу. В настоящее время действует стандарт EcoMaterial 1.3 и планируется к выходу версия стандарта EcoMaterial 2.0, разработанная с учетом накопленного опыта, а также изменений в российском и международном законодательствах.

Стандарт экологической маркировки EcoMaterial оценивает основные экологические характеристики строительных и отделочных материалов и состоит более чем из 50 критериев оценки, при этом за каждый критерий материал может получить определенные баллы, максимальное количество — 200. По оценкам НП НБЭСР, не более 30 % строительной продукции могут претендовать на соответствие данному стандарту, около 30 % опасны для здоровья человека, хотя остальные могут соответствовать государственным нормам [7].

По стандарту EcoMaterial могут быть сертифицированы такие строительные и отделочные материалы, как полимерные материалы и изделия; природные каменные материалы и изделия; керамические материалы и изделия; стекло и другие материалы и изделия из минеральных расплавов; неорганические вяжущие вещества; бетоны; строительные растворы; искусственные необжиговые каменные материалы; органические вяжущие вещества и материалы на их основе; древесные материалы и изделия; металлические материалы; материалы лакокрасочные; продукция текстильной промышленности; продукция целлюлозно-бумажной промышленности.

При сертификации аудиторами EcoStandardgroup проводится комплексная проверка материалов, заявленных производителем на соответствие стандарту EcoMaterial, осуществляются выезд на производство и последующая лабораторно-аналитическая работа. Исследование строительных материалов выполняется специалистами ведущих научных центров России и включает в себя оценку по наиболее значимым для безопасности человека и окружающей среды факторам: эмиссии вредных веществ, радиационной безопасности, использованию вторсырья, энергоэффективности производства и т.п. Таким образом определяются материалы, относящиеся к числу самых экологически безопасных. При аудите уделяется особое внимание применению наилучших доступных технологий [8]. Причем с целью объективной оценки материала специалисты EcoStandardgroup для проведения экспертизы отбирают материал не только у производителя, но и в торговой сети.

По результатам таких исследований изготовителю дается право маркировать свою продукцию знаком экологической маркировки строительных материалов EcoMaterial. Маркировка EcoMaterial имеет четыре категории: Basic – безопасен для человека, Green – безопасен для человека и окружающей среды, Natural – абсолютно натуральный материал, безопасный для окружающей среды (см. рисунок). В новой версии стандарта EcoMaterial 2.0 был введен новый уровень химической, радиологической, микробиологической и электромагнитной безопасности строительного или отделочного материала для здоровья человека при правильном его использовании – категория маркировки «Absolute+» [9].



Маркировка EcoMaterial

Знак EcoMaterial является дополнительной гарантией безопасности продукции для потребителя.

Однако покупатель должен знать, что существует так называемый «гринвошинг» (greenwashing в переводе с английского – «зеленое отмывание»), т.е. производитель заявляет об экологичности своей продукции, маркирует ее различными значками, не имея никаких документов, подтверждающих это. Эти случаи возможны из-за несовершенства нормативно-правовой базы в области экологической сертификации и маркировки.

Таким образом, совершенствование российского законодательства, а также самостоятельное повышение информированности и экологической грамотности самим потребителем в данной сфере должно способствовать созданию нового рынка строительных материалов, отвечающего требованиям «зеленого строительства», рынка, на котором экологическая безопасность материалов будет иметь такое же большое значение, как их качественные характеристики и стоимость. Ведь, по словам В.И. Вернадского, «... научное мировоззрение, проникнутое естествознанием и математикой, есть величайшая сила не только настоящего, но и будущего».

Список литературы

1. Петрянина, Л.Н. Учет экологических факторов при проектировании промышленных предприятий / Л.Н. Петрянина, А.А. Булдыгина, О.В. Карпова // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 1(26). – С. 138–143.

2. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ. – URL: <http://pravo.gov.ru/>
3. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ. – URL: <http://pravo.gov.ru/>
4. Башкирова, Ю.Н. Проблемы добровольной сертификации / Ю.Н. Башкирова, О.В. Карпова // Научно-практический журнал «Аллея науки». – 2017. – № 10. – С. 716–721.
5. Васнецова, С. Экологическая сертификация стройматериалов в западных странах / С. Васнецова. – URL: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=3929
6. <http://ecounion.ru/listok-zhizni/o-programme/programma-listok-zhizni/>
7. <http://www.rugbc.org/ru/resources/articles/ecomaterial-interview>
8. Скобелев, Д.О. НДТ – элемент контроля и предотвращения негативного воздействия на окружающую среду / Д.О. Скобелев, О.В. Мезенцева // Контроль качества продукции. – 2014. – № 6. – С. 7–12.
9. <http://www.ecomaterial.ru/>

References

1. Petryanina, L.N. Accounting for environmental factors in the design of industrial enterprises / L.N. Petryanina, A.A. Buldygina, O.V. Karpova // Regional Architecture and engineering. – 2016. – No. 1 (26). – P. 138–143.
2. Federal law «On technical regulation» of 27.12.2002 № 184-FZ. – URL: <http://pravo.gov.ru/>
3. Federal law «On environmental protection» of 10.01.2002 № 7-FZ. – URL: <http://pravo.gov.ru/>
4. Bashkirova, Yu.N. Problems of voluntary certification / Yu. N. Bashkirova, O.V. Karpova // Scientific-practical journal «Alley of science». – 2017. – No. 10. – P. 716–721.
5. Vasnetsova, S. Ecological certification of building materials in Western countries / S. Vasnetsova. – URL: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=3929
6. <http://ecounion.ru/listok-zhizni/o-programme/programma-listok-zhizni/>
7. <http://www.rugbc.org/ru/resources/articles/ecomaterial-interview>
8. Skobelev, D.O. Mezentseva, O.V. NDT is an element of control and prevention of negative impact on the environment / D.O. Skobelev, O.V. Mezentseva // The quality control. – 2014. – No. 6. – P. 7–12.
9. <http://www.ecomaterial.ru/>

УДК 681.5.62-6:51-74

*Пензенский государственный
технологический университет*

Россия, 440605, г. Пенза,
пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а / 11

Бормотов Алексей Николаевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология машиностроения»
цикла «Автоматизация и управление»
E-mail: aleks21618@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

Бормотова Анастасия Алексеевна,
студентка
E-mail: nastya136 @yandex.ru

Penza State Technological University

*Russia, 440605, Penza, 1a / 11,
pas. Baydukova / Gagarin St.*

Bormotov Alexei Nikolaevich,
Doctor of technical Science, Professor of
department "Engineering Technology" cycle «
Automation and control»
E-mail: aleks21618@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

Bormotova Anastasia Alekseevna,
student
E-mail: nastya136@yandex.ru

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СИНТЕЗА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Н. Бормотов, А.А. Бормотова

В основу разработанного программного комплекса положены численные методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза математических моделей композитов по экспериментальным данным, основанные на многоуровневых преобразованиях и систематизации математических моделей по видам нелинейного преобразования координат, обеспечивающие повышение быстродействия и точности математического моделирования композитов.

Ключевые слова: математическое моделирование, многокритериальный синтез, интегрированный программный комплекс, композиционные материалы, системный анализ

INTEGRATED COMPLEX OF MATHEMATICAL MODELING AND MULTI-CRITERIAL SYNTHESIS OF COMPOSITE MATERIALS

A.N. Bormotov, A.A. Bormotova

The developed software package is based on numerical methods and algorithms of the structural and parametric synthesis of mathematical models of composites agreeably to experimental data based on multilevel transformations and systematization of mathematical models according to the types of nonlinear coordinate transformation that ensure an increase in the speed and accuracy of mathematical modeling of composites.

Keywords: mathematical modeling, multicriteria synthesis, integrated program complex, composite materials, system analysis

Введение. Интегрированный комплекс математического моделирования разработан на основе численных методов и алгоритмов структурно-параметрического синтеза математических моделей композитов по экспериментальным данным, основанных на многоуровневых преобразованиях и систематизации математических моделей по видам нелинейного преобразования координат, обеспечивающие повышение быстродействия и точности математического моделирования композитов.

Цель. Целью работы являлась разработка системы компьютерно-имитационного моделирования, позволяющей решать две задачи: задачу анализа – когда при помощи программных инструментов и численного эксперимента проводится исследование структуры и свойств уже существующих композитов, и задачу синтеза – когда на основе предложенных методологических принципов, математических моделей и численно-аналитических методов производится синтез новых композиционных материалов с заданными параметрами структуры и свойств специального назначения.

Материалы и методы. При разработке интегрированной системы компьютерного и имитационного моделирования композиционных материалов были учтены условия эксплуатации, способы применения, квалификация персонала, применяемые технические средства, стоимость разработки комплекса программ [1].

В таблице приведены минимальные характеристики ПЭВМ, на которых может быть установлен разработанный комплекс программ. При разработке программного комплекса моделирования композитов учитывались особенности операционной системы (ОС), под управлением которой находится ЭВМ. Современные ОС обладают, в основном, одинаковыми функциональными характеристиками. Разработанный программный комплекс может работать на ЭВМ под управлением Windows XP/Vista/7/Server 2008 и Linux Ubuntu 10.04/ Linux Mandriva 2011.

Интегрированная система компьютерного и имитационного моделирования композиционных материалов использует СУБД для хранения справочных данных, экспериментальных данных, результатов моделирования. Для разработки СУБД использовалась среда SQL Server 2008 R2 Standard. Возможно применение и других средств (MySQL 5.5, PostgreSQL 9.0, SQLite 3.7.7).

Минимальные характеристики ПЭВМ

№ п/п	Наименование	Характеристика	Примечание
Рабочая станция			
1	Процессор	Intel Pentium 2.0 ГГц	Допустимо использование от другого производителя с аналогичными характеристиками
2	Оперативная память	1 Гб	
3	Жесткий диск	40 Гб	
4	Видеосистема (видеоконтроллер + монитор)	1680×1050, 32 бит	
5	Сетевой контроллер	Ethernet (IEEE 802,3), 100 Мб/с	
Сервер			
1	Процессор	Intel Pentium Core Duo 2,4 ГГц	Допустимо использование от другого производителя с аналогичными характеристиками
2	Оперативная память	4 Гб	
3	Жесткий диск	RAID 5, 400 Гб	Допустимо применение других схем организации RAID-массивов
4	Видеосистема	1280×1024, 32 бит	
5	Система резервного копирования	DVD RW	Допустимо применение других систем резервного копирования
6	Сетевой контроллер	Ethernet (IEEE 802,3), 100 Мб/с	

В качестве интегрированной среды разработки (ИСП) – системы программных средств, используемых для разработки программного обеспечения – выбран язык программирования C++, компилируемый статически типизированный язык программиро-

вания общего назначения. Программы, разработанные на C++, отличаются высоким быстродействием, что важно для интегрированной системы компьютерно-имитационного моделирования композиционных материалов. Компилятор для C++ выбран GCC 4.0, который доступен бесплатно для выбранной программно-аппаратной платформы.

При разработке интегрированной системы компьютерно-имитационного моделирования композиционных материалов были выбраны следующие программно-технические средства: а) аппаратная платформа – Intel Pentium; б) операционная система – Microsoft Windows XP/7, Linux; в) система управления базами данных – MySQL, SQLite; г) компилятор GCC для языка программирования C++; д) интегрированная среда разработки – Nokia QT Creator.

Использование указанных программно-аппаратных средств обуславливает создание масштабируемой платформонезависимой интегрированной системы компьютерно-имитационного моделирования, с минимальными затратами на разработку и эксплуатацию. Применение современной библиотеки QT позволило создать дружелюбный интерфейс пользователя, что расширяет область применения программного комплекса и позволяет использовать его в учебном процессе [2, 3, 4].

Результаты и их обсуждение. *Структура интегрированной системы компьютерно-имитационного моделирования композиционных материалов.* Система компьютерного моделирования и программный комплекс, реализующие все методологические принципы, методы построения математических моделей и структурно-параметрического синтеза многофакторных моделей КМ на основе многоуровневых преобразований координат, представляют собой легко расширяемое и модернизируемое приложение, работающее в различных операционных системах. Высокая модульность приложения позволяет осуществлять лёгкую поддержку и обновление данной системы.

Приложение имеет трёхслойную структуру: слой нулевого уровня представлен расширяемой программной оболочкой (РПО), инкапсулирующей в себя основной «минимальный» набор функций, а также общий графический интерфейс, необходимый для функционирования; на первом уровне располагаются модули, представляющие графические и функциональные оболочки для дополнительных модулей второго уровня; второй уровень содержит модули с рабочими процедурами расчёта, которые активируются первым уровнем для выполнения общей «целевой» функциональности приложения [5].

Общий алгоритм и основные процедуры. На рис. 1 приведена UML-диаграмма активности оператора по применению интегрированной системы компьютерного и имитационного моделирования композиционных материалов.

Оператор с целью документирования вводит назначение композита. Далее выбирает компоненты: связующее, модификатор, наполнитель, заполнитель. Сведения о свойствах компонента хранятся в базе данных; если таковых недостаточно, оператор должен провести натурный эксперимент и результат занести в базу данных.

Выбрав требуемые характеристики (защитные, прочностные, технологические и т.п.), оператор осуществляет моделирование. Проверяется возможность получения композиционного материала по исходным данным. Если указанные свойства КМ недостижимы, то осуществляется подбор из базы данных необходимых компонентов, и предлагается вариант оператору. Оператор должен принять или внести требуемые изменения и повторить моделирование.

Далее комплекс программ выполняет алгоритм оптимизации связующего. Если задано моделирование только клея, задача завершается, иначе производится подбор состава мастики. Задача также завершается, если выбран подбор только мастики.

В полном объёме комплекс программ осуществляет подбор состава композита, параметров структуры, рецептуры и технологии изготовления композиционного материала [5].

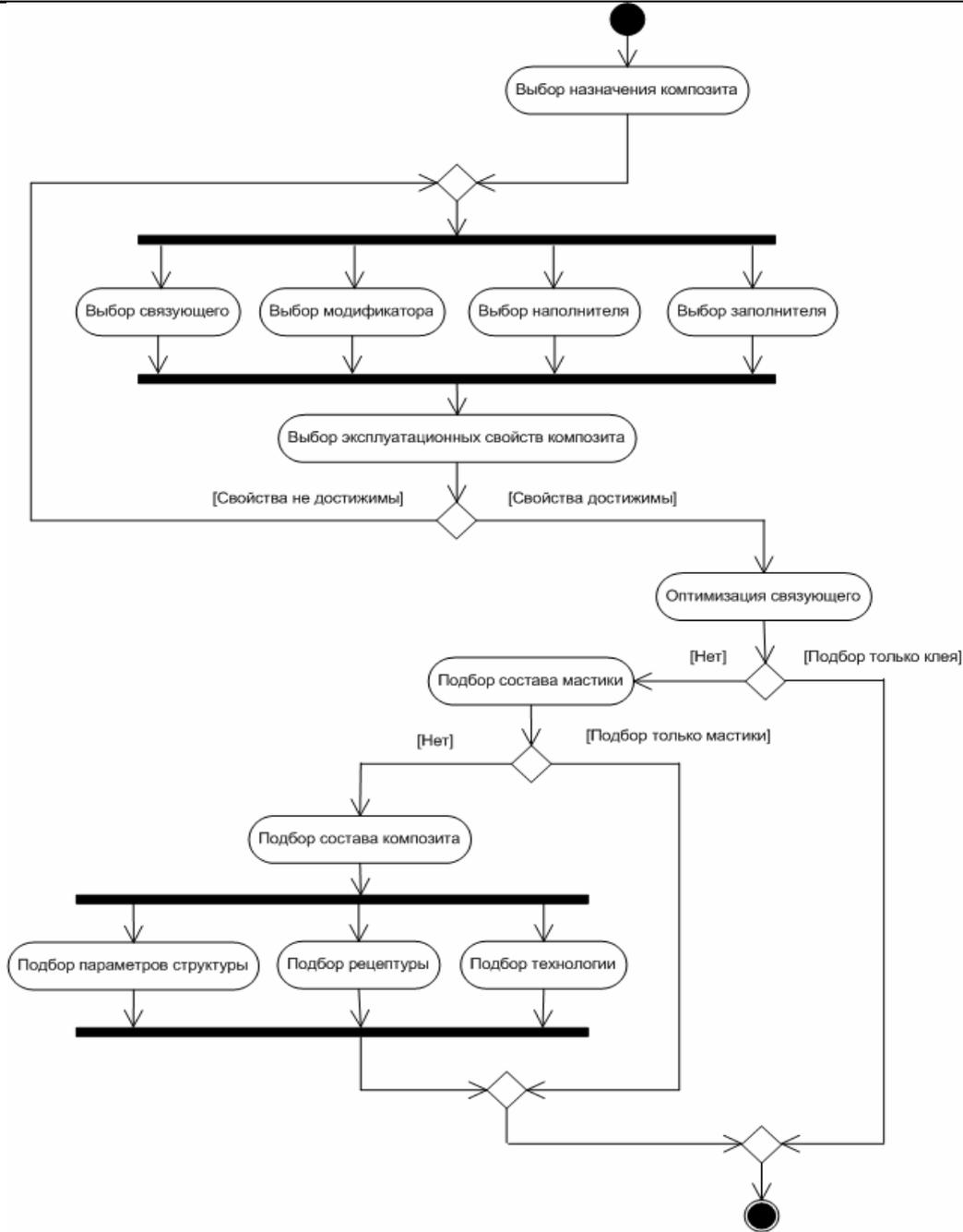


Рис. 1. Диаграмма активности программного комплекса

Архитектура интегрированной системы компьютерно-имитационного моделирования композиционных материалов. Управляющая программа реализует главное меню программы, ведение справочной информации, ввод назначения, состава, характеристик КМ, ввод результатов исследований (натурных экспериментов, измерений) свойств материалов. В ней также реализовано отображение 2D- и 3D-графиков, отображающих ход построения модели и получаемые свойства.

Непосредственно имитационное моделирование осуществляется посредством вызова модулей, реализованных в виде динамически загружаемой библиотеки. Модули реализуют отдельные алгоритмы, имитирующие развитие того или иного процесса в композиционном материале.

На рис. 2 приведена укрупненная архитектура интегрированной системы компьютерно-имитационного моделирования композиционных материалов.

Интегрированная система компьютерно-имитационного моделирования композиционных материалов объединяет стандартные библиотеки Nokia QT 4.7, QWT и раз-

работанные на основе предложенных авторами математических методов моделирования [1, 5] программные модули, реализующие методологию математического моделирования композитов специального назначения [5].

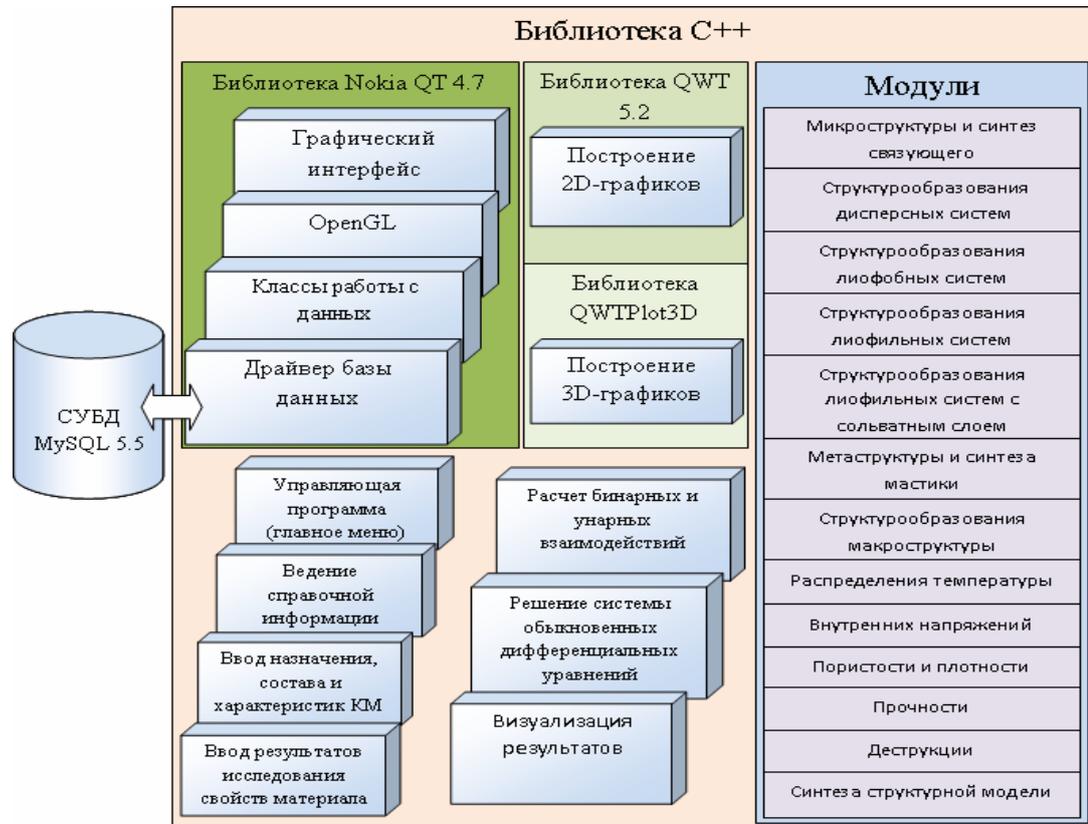


Рис. 2. Укрупненная архитектура системы компьютерно-имитационного моделирования композитов

Логическая структура базы данных. База данных служит хранилищем знаний о свойствах материалов (связующих, модификаторов, наполнителей и заполнителей). В базе данных также хранятся результаты моделирования. Знания о свойствах материалов могут пополняться оператором путем занесения результатов натурных исследований, моделирования, внесения справочных данных. Физическая структура реализована для СУБД MySQL и SQLite.

На рис. 3 приведена логическая структура базы данных интегрированной системы компьютерного и имитационного моделирования композиционных материалов, содержащая связи между таблицами. Структура базы данных представлена в 3-й нормальной форме.

Выводы. Разработанный интегрированный комплекс программ моделирования композитов специального назначения объединяет следующие модули: обработки экспериментальных данных, синтеза наборов и пакетов нелинейных моделей структурных уровней композитов, анализа и оценки математических моделей, численной оптимизации, обеспечивающей решение задач математического моделирования и многокритериального синтеза композитов с заданными параметрами структуры и свойств.

Преимущества и новизна разработанной системы компьютерного и имитационного моделирования композитов заключается в том, что система объединяет в себя методики проведения численного и натурального эксперимента, методы моделирования макроуровней композита с учетом моделирования микроуровней, а также алгоритмы и комплексы программ, обеспечивающие получение эффективной технологии синтеза композитов специального назначения.

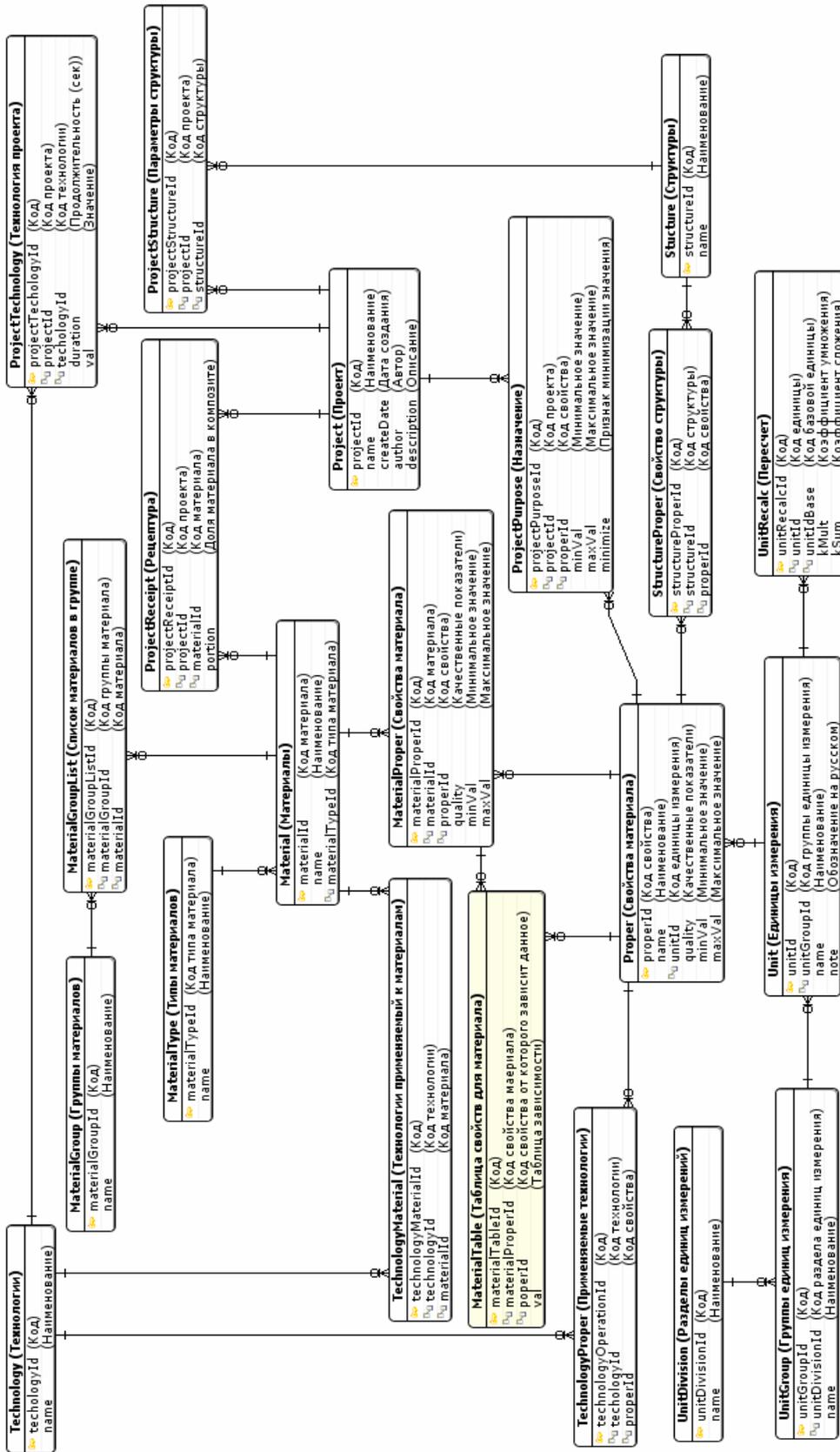


Рис. 3. Логическая структура базы данных

В результате применения разработанного интегрированного комплекса программ авторами было установлено, что реализованные в системе компьютерного и имитационного моделирования принципы, методики и алгоритмы обеспечивают моделирование физико-химических процессов структурообразования в граничном слое дисперсных фаз композитов и позволяют в 3–5 раз сократить объем натурального эксперимента, в 2 раза повысить точность моделирования и использовать при моделировании уже накопленный однофакторный экспериментально-статистический материал [2–5].

Результаты математического моделирования многокритериального синтеза композитов специального назначения внедрены в учебный процесс и на предприятиях оборонного комплекса в виде методов и методик анализа и синтеза, пакетов прикладных программ и программных комплексов. Выполненные экспериментальные исследования, промышленная апробация и эксплуатация созданных методик и программных средств подтверждают высокую эффективность разработанных теоретических основ и методологии моделирования композиционных материалов специального назначения [1–5].

Список литературы

1. Бормотов, А.Н. Математическое моделирование и многокритериальный синтез композиционных материалов / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, Е.В. Королёв. – Пенза: Изд-во ПГТА, 2011. – 352 с.
2. Береговой, В.А. Моделирование структуры и прогнозирование свойств пористых композиционных материалов на стеклокристаллической матрице / В.А. Береговой // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – № 4 (688). – С. 22–29.
3. Аналитическое определение параметров лопастных смесителей для турбулентного перемешивания сухих смесей / В.В. Коновалов, А.В. Чупшев, В.П. Терюшков, Г.В. Шабурова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 1. – С. 135.
4. Обоснование оптимальных конструктивно-режимных параметров смесителя непрерывного действия / В.В. Коновалов, А.С. Калиганов, В.П. Терюшков, А.В. Чупшев // Нива Поволжья. – 2011. – № 3. – С. 63–67.
5. Бормотов А.Н. Математическое моделирование и многокритериальный синтез композиционных материалов специального назначения: дис... доктора техн. наук. – Пенза, 2011. – С. 316.

References

1. Bormotov, A.N. Mathematical modeling and multicriteria synthesis of composite materials / A.N. Bormotov, I.A. Proshin, E.V. Korolev. – Penza: Publishing House of PGTA, 2011. – 352 p.
2. Beregovoy, V.A. Modeling the structure and predicting the properties of porous composite materials on a glasscrystalline matrix / V.A. Beregovoy // News of higher educational institutions. Building. – 2016. – No. 4 (688). – P. 22–29.
3. Analytic determination of the parameters of blade mixers for turbulent mixing of dry mixtures / V.V. Konovalov, A.V. Chupshev, V.P. Teriushkov, G.V. Shaburova // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. – 2012. – No. 1. – P. 135.
4. Substantiation of the optimal constructive-regime parameters of a continuous mixer / V.V. Konovalov, A.S. Kaliganov, V.P. Teriushkov, A.V. Chupshev // Niva of the Volga region. – 2011. – No. 3. – P. 63–67.
5. Bormotov, A.N. Mathematical modeling and multicriteria synthesis of composite materials for special purposes: dis ... doktor of sciences / A.N. Bormotov. – Penza, 2011. – P. 316.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 624

*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

Алимов Марат Фатихович,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»

Гарынкина Екатерина Николаевна,
магистрант кафедры «Строительные
конструкции»

Сорокин Евгений Вячеславович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: ntorm80@mail.ru

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»

Garynkina Ekaterina Nikolaevna,
Undergraduate of the department «Building
structures»

Sorokin Evgenii Vyacheslavovich,
Candidate of Science, Associate Professor of
the department «Building designs»
E-mail: ntorm80@mail.ru

ОЦЕНКА РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА, ПОДВЕРЖЕННОГО ДЕЙСТВИЮ ХЛОРИДНОЙ КОРРОЗИИ, ПО ПРОЧНОСТИ НАКЛОННОГО СЕЧЕНИЯ

В.П. Селяев, П.В. Селяев, М.Ф. Алимов, Е.Н. Гарынкина, Е.В. Сорокин

Рассмотрены деградационные модели железобетонных изгибаемых элементов, работающих в условиях хлоридной коррозии. Формирование расчетной модели основано на анализе предельных состояний по прочности наклонных сечений и применении фундаментальных законов физической химии, уравнений Гульдберга – Вааге, Фика, Лангмюра для описания кинетических параметров деградационной модели: глубинного показателя, коэффициента диффузии, предельной сорбционной емкости, коэффициента химического сопротивления.

Приведены результаты экспериментальных исследований работы железобетонных изгибаемых элементов с одиночным армированием стальными и композитными стержнями в условиях хлоридной коррозии.

Ключевые слова: хлоридная коррозия, расчетная модель прочности наклонного сечения, модель деградации, показатели химического сопротивления

ESTIMATION OF THE RESOURCE OF THE REINFORCED CONCRETE ELEMENT SUBJECTED TO THE ACTION OF CHLORIDE CORROSION BY THE STRENGTH OF THE INCLINED SECTION

V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, M.F. Alimov, E.N. Garynkina, E.V. Sorokin

The paper considers degradation models of reinforced concrete bending elements operating in the conditions of chloride corrosion. The formation of the computational model is based on the analysis of limit states in terms of the strength of inclined sections and application of fundamental laws of physical chemistry, the Guldberg-Waage, Fick, and Langmuir equations, for describing the kinetic parameters of the degradation model: the depth index, the diffusion coefficient, the limiting sorption capacity, and the chemical resistance coefficient.

The results of experimental studies of the work of reinforced concrete bending elements with a single reinforcement of steel and composite rods in the conditions of chloride corrosion are presented.

Keywords: chloride corrosion, calculated model of strength of inclined section, degradation model, chemical resistance

Введение

Актуальность проблемы долговечности железобетонных конструкций обосновывалась в работах В.М. Бондаренко, Ю.М. Баженова, В.И. Соломатова, В.И. Колчунова, В.П. Селяева, Н.И. Карпенко [1–5]. Затраты на ремонт и восстановление поврежденных строительных конструкций в промышленно-развитых странах составляют до 40 % капиталовложений в строительство [6].

По мнению специалистов, затраты на ремонт и восстановление железобетонных конструкций, работающих в условиях действия агрессивных сред, можно сократить, если проектировать конструкции из условия обеспечения заданного ресурса эксплуатации.

Для этого необходимо развивать методы расчета, оценки ресурса железобетонных конструкций, учитывающие условия эксплуатации.

В предлагаемой статье рассматривается расчетная модель для оценки ресурса железобетонного изгибаемого элемента, работающего в условиях действия водных растворов, содержащих ионы хлора.

Расчетная модель

Расчетные модели прочности наклонных сечений железобетонных изгибаемых элементов, подверженных действию агрессивных сред, рассматривались в работах В. И. Бондаренко, В. И. Колчунова [7–9].

Аналитическую оценку параметров деформирования и трещинообразования нагруженных и коррозионно-поврежденных бетонных и железобетонных элементов предлагается выполнять с использованием модели В. М. Бондаренко [1, 2], которая описывает процесс взаимодействия материала конструкции с агрессивной средой одним дифференциальным уравнением. При этом выдвигаются гипотезы: об аффинном подобии кинетики параметров α (скорость коррозионного процесса) и $\delta_{кр}$ (критическая глубина коррозионного повреждения); о затухающем характере процесса деградации цементного бетона в агрессивных средах. Параметры α , $\delta_{кр}$ предлагается аппроксимировать функциями, вид которых принимается без учета физических и химических процессов взаимодействия материала со средой.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями, проведенными под руководством В.П. Селяева, установлено, что кинетику разрушения структуры цементных композитов под действием агрессивных сред можно описать и оценить на основе фундаментальных законов: действия масс; сорбции; массопереноса [3–6].

Зависимость скорости и направления химических реакций от концентрации реагирующих веществ (закон действующих масс) описывается дифференциальным уравнением Гульдберга – Вааге:

$$\frac{dc}{dt} = k [c_1]^n [c_2]^m [c_3]^o, \quad (1)$$

где n, m, o – порядок реакций; k – константа скорости реакции, которая не зависит от концентрации c_1, c_2, c_3 , но зависит от температуры и природы реагирующих веществ.

Зависимость скорости и направления переноса массы в твердое тело от градиента концентрации описывается дифференциальным уравнением Фика (скорость переноса пропорциональна градиенту):

$$\frac{dc}{dt} = D \left(\frac{d^2c}{dx^2} \right), \quad (2)$$

где D – коэффициент диффузии, который в первом приближении не зависит от x и c .

Закон сорбции предлагается записать в виде уравнения Лангмюра:

$$\Delta c = \frac{c_m t}{(t_{0.5} + t)}, \quad (3)$$

где c_m – предельная сорбционная емкость; $t_{0.5}$ – кинетическая характеристика процесса сорбции, которая зависит от уровня напряжений, температуры.

Закон Гульдберга – Вааге дает возможность сформировать моно-, би- и тримолярные модели химического взаимодействия веществ [6]. Анализ экспериментальных данных изменения упруго-прочностных характеристик цементных композитов под действием агрессивных водных растворов показал, что наиболее адекватной является бимолярная модель. Тогда из решения уравнения (1) изменение прочности контактных (внешних) слоев бетона $\sigma(t)$ от длительного действия среды выражается функцией вида:

$$\sigma_{(t)} = \sigma_{(0)} \frac{c_0}{k_1 c_0 t + 1}; \quad k_{x.c} = \frac{\sigma_{(t)}}{\sigma_{(0)}} = \frac{1}{k_1 t + 1}, \quad (4)$$

где k_1 – характеристика активности химического взаимодействия; определяется по экспериментальным данным; $c_0 = 1$; $k_{x.c}$ – коэффициент химического сопротивления.

Решение уравнение Фика, приведенное в работах [4, 5, 11], дает возможность определить глубинный показатель (глубину коррозионного повреждения) a по формуле вида

$$a = k_{(\xi)} \sqrt{Dt}, \quad (5)$$

где $k_{(\xi)}$ – коэффициент, определяемый по экспериментальным данным.

Совместное решение уравнений Лангмюра и Фика позволяет определить характеристики $c_m, t_{0.5}$ [11] и коэффициент диффузии по формуле [11]

$$D = k_2 \frac{R^2}{t_{0.5}}, \quad (6)$$

где k_2 – коэффициент, равный 0,1–0,2; R^2 – характерный размер образца (изделия).

Значения коэффициентов $k_{(\xi)}$ и k_2 зависят от соотношения $\frac{c_{(t)}}{c_m}$, поэтому являются аффилированными.

Зная кинетические характеристики D , $k_{x.c}$, c_m , $t_{0.5}$, a , модель деградации поперечного сечения железобетонного изгибаемого элемента будем формировать на основе расчетной модели прочности наклонных сечений изгибаемых элементов, рекомендованной СП 63.13330.2012. Модель деградации (рис. 1) представляем в виде эпюр (изохрон деградации), характеризующих распределение свойств (модуля упругости, предела прочности, твердости) по высоте поперечного сечения конструкционного элемента. Параметры деградации a и $k_{x.c}$ определяются по экспериментальным данным методом линеаризации функций 3 и 4 [6].

Рассмотрим железобетонную балку с одиночным армированием, находящуюся под воздействием сосредоточенных сил и агрессивной внешней среды (см. рис. 1).

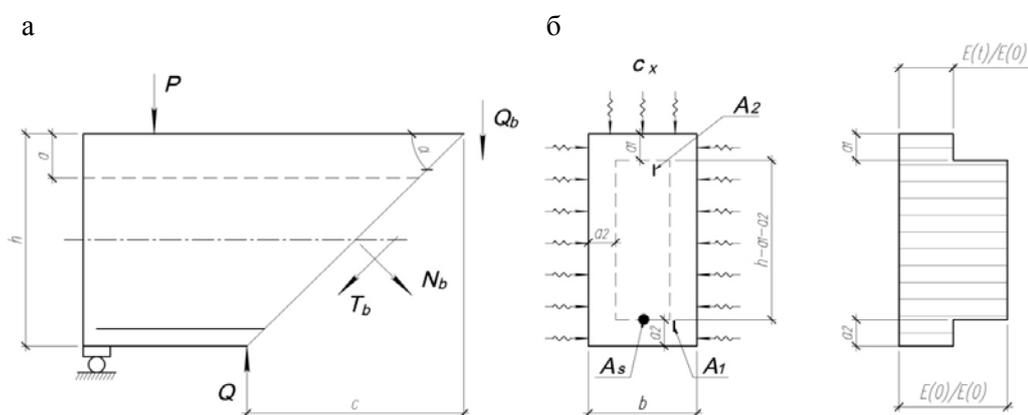


Рис. 1. Расчетная модель прочности наклонных сечений железобетонных изгибаемых элементов, подверженных действию агрессивных сред:
а – силовая модель; б – модель деградации

В классической теории расчета железобетонных конструкций предполагается, что разрушение бетона по наклонным сечениям происходит под действием растягивающих напряжений (первое условие прочности $\sigma \leq R_{bt}$). Тогда из расчетной модели (см. рис. 1) можем получить:

$$Q_{b1(t)} = \frac{N_b}{\cos \alpha} = \varphi \frac{R_{bt} b h^2}{c} \left[1 - \frac{A_1}{b h} (1 - k_{x.c}) \right], \quad (7)$$

где $\varphi = \left(1 - \frac{c^2}{h^2} \right)$; $A_1 = b(a_1 + a_2) + 2a_3 [h - (a_1 + a_2)]$.

Если повреждений бетона нет, то принимаем $A_1 = 0$, получаем формулу М.С. Боришанского. Так как разрушение по наклонному сечению возможно под действием касательных усилий T_b , то принимаем в качестве предельного условия $\tau \leq R_{bt}$ (третье условие прочности), получаем:

$$Q_{b3(t)} = \frac{T_b}{\sin \alpha} = \varphi R_{bt} b h \left[1 - \frac{A_1}{b h} (1 - k_{x.c}) \right]. \quad (8)$$

Принимая за критерий разрушения четвертое условие прочности Кулона – Новье:

$$|\tau| + \gamma \sigma \leq R_{bt}, \text{ получаем } Q_{b4(t)} = \varphi \frac{R_{bt} b h}{1 + \gamma c / h} \left[1 - \frac{A_1}{b h} (1 - k_{x.c}) \right]. \quad (9)$$

Анализ предложенных функций Q_{bi} (при $t=0$, $A_1=0$) показал, что изменение поперечной силы, воспринимаемое поперечным сечением, зависит от соотношения c/h и коэффициента трения γ .

Результаты, полученные по первой теории прочности, существенно отличаются от результатов, полученных по третьей и четвертой теориям прочности при соотношении $c/h < 0,5$. При соотношении $c/h \approx 0,5$ все три теории дают близкие по величине значения $Q_b / R_{bt}bh$ (рис. 2).

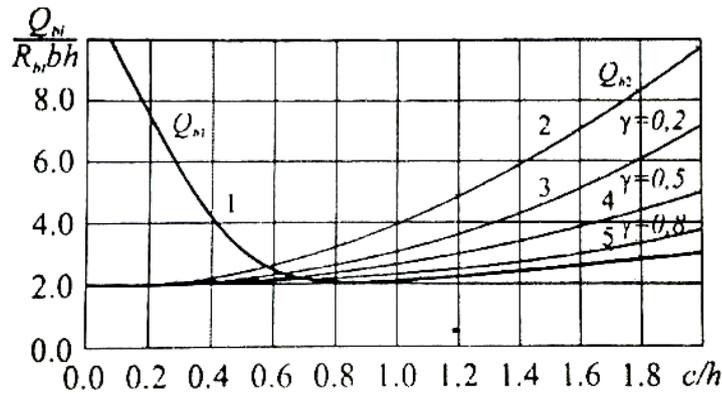


Рис. 2. Изменение поперечной силы при расчете по первой (1), третьей (2), четвертой (3), (4), (5) теории прочности

Влияние трения бетона о бетон на поперечную силу, воспринимаемую бетоном, незначительно при $c/h < 0,5$ (рис. 3).

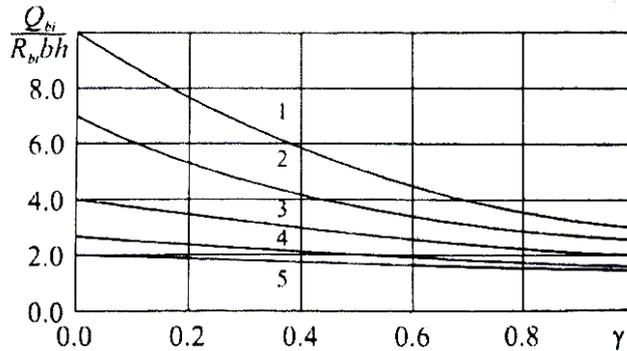


Рис. 3. Влияние коэффициента трения на поперечную силу при значениях c/h :
1 – 2; 2 – 1,5; 3 – 1,0; 4 – 0,5; 5 – 0,1

Рассмотрим влияние агрессивной среды на величину поперечной силы, воспринимаемой бетоном. Для этого формулу (7) запишем через кинетические характеристики взаимодействия бетона с агрессивной средой (auk_{xc}).

При условии $a_1 = a_2 = a_3 = a$ получаем:

$$Q_{b1(t)} = \varphi \frac{R_{bt}bh^2}{c} \left[1 - \frac{2a(b+h)}{bh} (1 - k_{xc}) + \frac{4a^2}{bh} (1 - k_{xc}) \right].$$

Учитывая, что $Q_{b1(0)} = \frac{R_{bt}bh^2}{c}$; $a = k_{(\xi)} \sqrt{Dt}$; $k_{xc} = \frac{1}{k_1 t + 1}$, запишем аналитическое

выражение деградационной функции $D(Q)$:

$$D(Q) = \frac{Q_{b1(t)}}{Q_{b1(0)}} = 1 - \frac{2k_{(\xi)} \sqrt{Dt} (b+h)}{bh} \left(1 - \frac{1}{k_1 t + 1} \right) + \frac{4k_{(\xi)}^2 Dt}{bh} (1 - k_{xc}). \quad (10)$$

Нормируя допустимое в процессе эксплуатации снижение прочности наклонного сечения, по формуле (10) можно определить ресурс железобетонного изгибаемого элемента.

Эксперимент

Экспериментальные исследования проводились на образцах-призмах 20×20×20 мм, 40×40×160 мм, балках с размерами поперечного сечения 120×140×1030 мм (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Результаты испытания балок

№ балки	Эскиз поперечного сечения	Разрушающие усилия				Момент трещинообразования		Прогибы	
		M_{ult} , кН·м	$M_{ult}^{теор}$, кН·м	Q_{ult} , кН	$Q_{ult}^{теор}$, кН	$M_{cr,ult}$, кН·м	$M_{cr,ult}^{теор}$, кН·м	f_{ser} , мм	f_{ult} , мм
С-1	<p>Бетон кл. В20 140 125 15 60 60 120 φ6 АКС «Арматек» ТУ 2296-001-60722703-2010</p>	1,51	$\frac{1,174}{2,03}$	5,038	10,12	0,6	$\frac{0,55}{0,79}$	$\frac{0,75}{0,8}$	16
С-2	<p>Бетон кл. В20 140 125 15 90 15 120 φ6 АКС «Арматек» ТУ 2296-001-60722703-2010</p>	2,783	2,273	11,53	10,124	1,00	0,556	1,1	15
С-1к **	<p>Бетон кл. В20 ФАС 140 125 15 60 60 120 φ6 АКС «Арматек»</p>	$\frac{1,4}{93\%}$	0,98	4,5		$\frac{0,5}{83\%}$	0,87	$\frac{1,2}{150\%}$	17
М-1	<p>Бетон кл. В20 140 125 15 60 60 120 φ6 А400 ГОСТ 5781-82*</p>	1,355	1,215	4,156	10,12	1,00	0,569	0,53	2,18
М-2	<p>Бетон кл. В20 140 125 15 90 15 120 φ6 А400 ГОСТ 5781-82*</p>	2,71	2,349	9,038	10,12	0,885	0,59	0,70	4,73

Балки с одиночным армированием композитными (Армастек Ø6 С-1) и стальными (Ø6 А400 М-1) стержнями перед испытанием выдерживались на воздухе (М-1, С-1) и в растворах (1 % HCl и 25 % NaCl), содержащих ионы хлора (балки С-1к).

Балки и призмы изготавливались из бетона на основе цемента ПЦ-М500-Д0 (ОАО «Мордовцемент»), В/Ц – 0,35, наполнители МК – 15 % и Пластанол-7 – 0,9 % от массы цемента.

На образцах-призмах по известной методике [6] определялись кинетические характеристики изменения прочности и сорбции цементных композитов в водных растворах, содержащих ионы хлора. Графики изменения прочности и сорбционные кривые представлены на рис. 4.

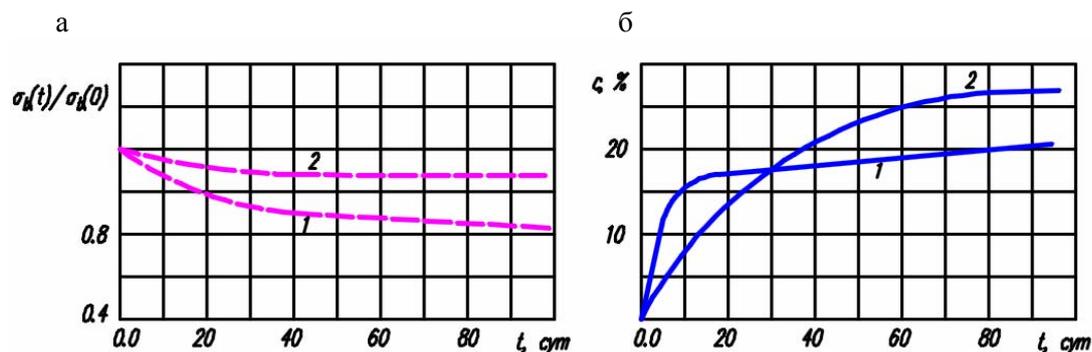


Рис. 4. Графики изменения прочности (а) и сорбции (б) цементных композитов в водных растворах:
1 – 1 % HCl; 2 – 25 % NaCl

Линеаризация графиков (см. рис. 4,а) с применением формулы (4) позволила определить функции химического сопротивления $k_{x.c}$.

Линеаризация сорбционных кривых, приведенных на рис. 4,б, в осях $1/c \div 1/t$ позволила определить по уравнению Лангмюра предельную сорбционную емкость c_m , кинетическую характеристику $t_{0.5}$ и по формуле (6) коэффициент диффузии D . Кинетические характеристики сорбции и снижения прочности приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Показатели химического сопротивления цементных композитов

№ п/п	Среда	c_m , %	$t_{0.5}$, час	$k_1 t \cdot 10^5$	$D \cdot 10^5$, м ² /час
1	1 % HCl	2,5	170	8,25	0,23
2	25 % NaCl	3,3	400	2,5	0,1

Испытания балок проводили по нормативной методике (ГОСТ 8899-94) на установке, общий вид которой приведен на рис. 5. Нагружение проводилось ступенями 5–10 % от разрушающей нагрузки. Деформации измерялись прогибомерами часового типа, ширина раскрытия трещин – микроскопом МПБ-2.

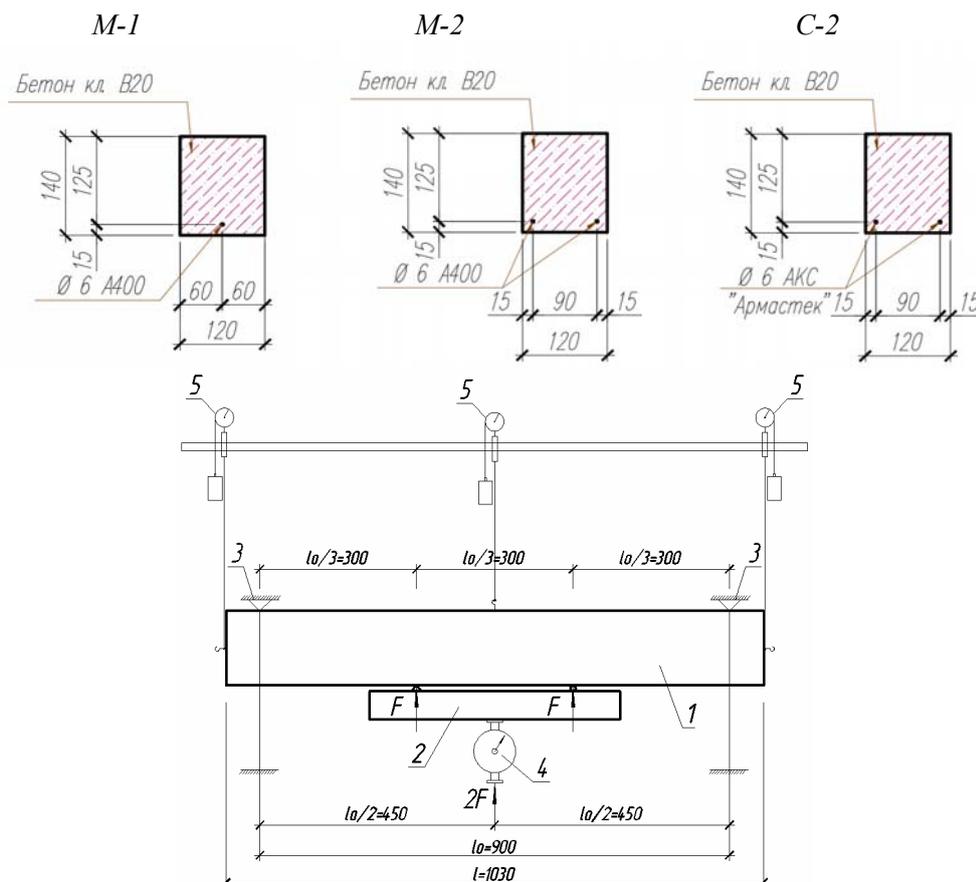


Рис. 5. Поперечное сечение балок. Схема испытаний опытных балок и расстановка измерительной аппаратуры

Результаты, анализ и обсуждения

Результаты испытаний балок представлены в табл. 1. Сравнение результатов испытаний балок из бетона класса В20 с одиночной арматурой из стали А400 и композитной арматурой показывает, что замена стальной арматуры на композитную незначительно повышает прочность нормальных сечений ($2 \div 10\%$), но снижает момент образования трещин и значительно (в 2–3 раза) увеличивает прогибы.

Образование первых трещин в балках с композитной арматурой сопровождается нарушением сцепления между арматурой и бетоном на участках более значительной протяженности, чем в образцах с металлической арматурой. Вероятно, более слабое сцепление композитной арматуры с бетоном и низкое значение модуля упругости композитной арматуры объясняют снижение момента образования трещин и увеличение прогибов.

Влияние агрессивной среды на работу изгибаемых элементов проявлялось в образовании наклонных трещин при более низких уровнях нагрузки. Это можно объяснить тем, что снижение прочности бетона под действием агрессивных сред оказывает большее влияние на прочность наклонных сечений.

Под действием агрессивной среды произошло снижение прочности бетона внешних контактных слоев балки на величину $k_{x,c}$ и на глубину a . Экспериментально установлено, что уже после 60 суток действия ионов хлора несущая способность балок снизилась M_u на 7 %, момент образования трещин на 17 %; прогибы f_{ser} увеличились в 1,5 раза.

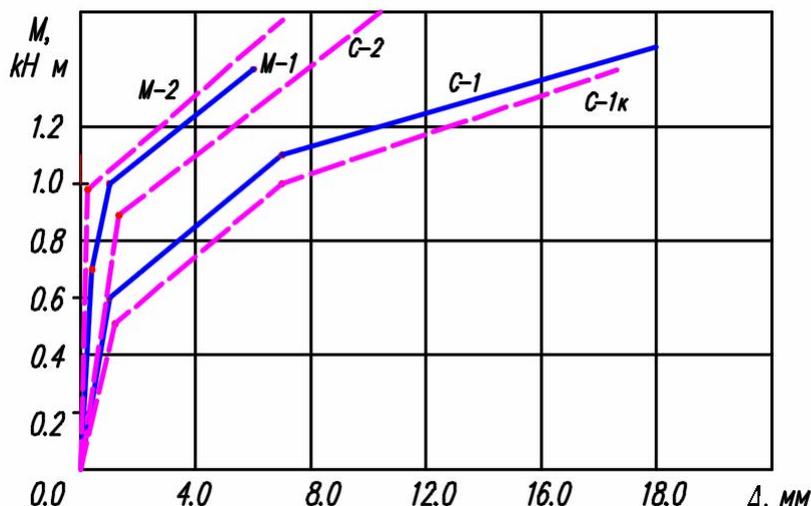


Рис. 6. Изменение прогибов в процессе нагружения балок С-1, С-1к, М-1, С-2, М-2

Рассматривая модель деградации с линейными изохронами, запишем условия предельных состояний для изгибаемого элемента, подверженного действию ионов хлора, в виде неравенства:

$$M \leq M_{u(0)} D(M); \quad M \leq M_{crc(0)} D(M\varepsilon); \quad f = fD(Wu)^{-1} \leq f_n,$$

$$Q \leq Q_{u(0)} D(Q),$$

где $D(M)$, $D(M\varepsilon)$, $D(Wu)$ – деградационные функции, методика определения которых изложена в [7].

С учетом деградационных функций изменение M_u , M_{crc} , Q_u и f от длительности t действия агрессивной среды предлагаем определять по формулам (при условии $a_1 = a_3 = a$; $a_2 = 0$):

$$M_u(t) = \alpha_m R_b b h_0^2 \left[1 - \frac{(1 - k_{x.c}) a / h}{1 - 0.5 \mu R_s / R_b} \right]; \quad (11)$$

$$M_{crc}(t) = M_{crc}(0) \left[k_{x.c} + \left(1 - 2 \frac{a}{b} \right) \left(1 - 2 \frac{a}{h} \right)^2 (1 - k_{x.c}) \right]; \quad (12)$$

$$Q_{u(t)} = Q_{u(0)} \left[1 - \frac{ba + 2ah - 2a^2}{bh} (1 - k_{x.c}) \right]; \quad (13)$$

$$f = \frac{f_{(0)}}{k_{x.c} + \left[\left(1 - 2 \frac{a}{b} \right) \left(1 - 2 \frac{a}{h} \right)^3 (1 - k_{x.c}) \right]}; \quad (14)$$

Расчетом деградационных функций $M_u(t)/M_u(0)$; $M_{crc}(t)/M_{crc}(0)$; $Q_{u(t)}/Q_{u(0)}$ и $f_{ser}(t)/f_{ser}(0)$ установлено, что через 180 суток действия агрессивных

сред произойдет: снижение M_u , Q_u и M_{crc} соответственно на 5 и 13 %; повышение прогибов f_{ser} на 16 %.

Если нормировать значения коэффициента переноса D , то для оценки остаточного ресурса конструкции предлагается следующий алгоритм действий:

– инструментально определяем глубину a повреждения материала конструкции хлоридной агрессивной средой;

– по формуле (5) определяем расчетное время действия ионов хлора на конструкцию ($t = a^2 / k(\omega)^2 D$);

– инструментально и с учетом расчетного времени по формуле (4) оцениваем степень повреждения (относительное снижение прочности – $k_{x.c.}$) внешних слоев бетона, контактирующих с агрессивной средой;

– по значениям a и $k_{x.c.}$ определяем степень деградации конструкции (по деградационным функциям: несущую способность нормальных сечений $D(Mu)$; момент трещинообразования $D(Mcrc)$, жесткость $D(Wu)$ и прочность наклонных сечений $D(Q_u)$).

Расчетные значения функций деградации, соответствующие заданным значениям a/h , приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные значения функций деградации, соответствующие значениям a/h и $k_{x.c.}$, определенные экспериментально

№ п/п	a/h	$t = \frac{a^2}{0,16D}$, час	$k_{x.c.} = \frac{1}{26 \cdot 10^{-6} t + 1}$	Деградационные функции			
				M_u (7)	M_{crc} (8)	W_u (9)	Q
1	0,1	$0,12 \cdot 10^5$	0,77	0,98	0,89	0,86	0,93
2	0,2	$0,49 \cdot 10^5$	0,43	0,88	0,55	0,5	0,67
3	0,3	$1,1 \cdot 10^5$	0,26	0,77	0,30	0,278	0,43
4	0,4	$1,96 \cdot 10^5$	0,17	0,65	0,176	0,171	0,21
5	0,5	$3,1 \cdot 10^5$	0,11	0,54	0,11	0,110	0,04

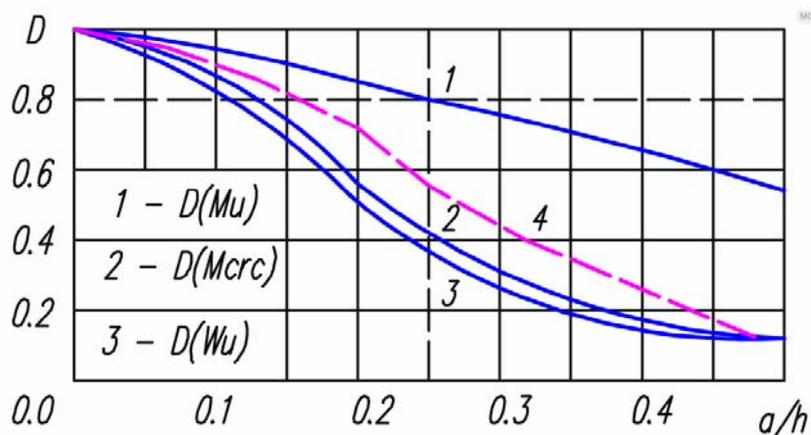


Рис. 7. Деградационные функции

Расчет производился для балок серии С-1к с одиночным армированием и размерами поперечного сечения $b \times h = 12 \times 14$ см; $D = 0,1 \cdot 10^{-6}$ м²/час.

Деградационные функции жесткости при изгибе определялись для балки, работающей без трещин.

Анализ показывает, что под действием хлоридной коррозии произошло снижение прочности наклонного сечения, момента образования трещин, жесткости при изгибе элемента, работающего без трещин. Изменение прочности наклонных сечений происходит более интенсивно, чем прочности нормальных сечений.

Графики деградационных функций дают возможность оценивать ресурс конструкции. Если принять, что ремонтные работы необходимо производить после того как несущая способность изгибаемого элемента снизится на 20 %, то $D(Mu) = 0,8$.

По графику функции $D(Mu)$, $D(Qu)$ находим, что предельное состояние по прочности нормального сечения изгибаемого элемента из условия долговечности наступит при глубине коррозионного повреждения $\frac{a}{h} = 0,25$; по прочности наклонного сечения

$\frac{a}{h} = 0,17$. Следовательно, в первом случае через 7 лет, во втором через 5 лет эксплуатации конструкции необходимо диагностировать и принимать решение о соответствующем ремонте, восстановлении несущей способности.

Выводы

В результате экспериментальных исследований установлено, что деградационные модели адекватно отражают особенности работы армобетонных конструкций в условиях действия агрессивных сред и дают возможность оценивать остаточный ресурс изгибаемых элементов по прочности наклонных сечений; формирование расчетной модели на основе методов предельных состояний и фундаментальных законов физики и химии, описывающих кинетику взаимодействия агрессивной среды с материалом конструкции, обеспечивает преемственность расчетных методов при условии достоверного определения глубинного показателя a и коэффициента химического сопротивления $k_{х.с}$; разработанные на основе фундаментальных законов методы определения коэффициента химического сопротивления, коэффициента переноса субстанции дают возможность повысить достоверность определения основных параметров модели деградации: глубинного показателя; коэффициента химического сопротивления.

Список литературы

1. Бондаренко, В.М. Диссипативная теория силового сопротивления железобетона / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин. – М.: Студент, 2015. – 111 с.
2. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – М.: АСВ, 2004. – 472 с.
3. Селяев, В.П. Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов, изделий, конструкций / В.П. Селяев, Т.А. Низина, В.Н. Уткина. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2003. – 48 с.
4. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
5. Селяев, В.П. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов / В.П. Селяев, В.И. Соломатов, Л.М. Ошкина; Рос. акад. архитектуры и строительных наук. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2001. – 150 с.
6. Прогнозирование долговечности железобетонных конструкций с учетом сульфатной коррозии бетона / В.П. Селяев, В.А. Неверов, П.В. Селяев, Е.В. Сорокин, О.А.Юдина // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – №1. – С. 41–53.

7. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций / Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко, В.Н. Ярмаковский, В.Т. Ерофеев. – М.: АCADEMIA. РААСН, 2015. – С. 3–18.
8. Бондаренко, В.М. К расчету сооружений, меняющих расчетную схему вследствие коррозионных повреждений / В.М. Бондаренко, Н.В. Ключева // Известия вузов. Строительство. – 2008. – №1. – С. 4–12.
9. Колчунов, В.И. Напряженно-деформированное состояние нагруженного и коррозионно-поврежденного железобетона в зоне наклонных трещин / В.И. Колчунов, М.С. Губанов // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2016. – Вып. №2 (42). – С. 11–21.
10. Бондаренко, В.М. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №2. – С 28–33.
11. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев, Ю.А. Соколова. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: РААСН, 2001. – 284 с.

References

1. Bondarenko, V.M. Dissipative theory of force resistance of reinforced concrete / V.M. Bondarenko, V.I. Rimshin. – M.: The student, 2015. – 111 p.
2. Bondarenko, V.M. Calculation models of resistance to reinforced concrete: monograph / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov. – M.: DIA Publishing House, 2004. – 472 p.
3. Selyaev, V.P. Chemical resistance and durability of building materials, products, structures / V.P. Selyaev, T.A. Nizina, V.N. Utkin. – Saransk: Publishing house of the Mordovian University, 2003. – 48 pp.
4. Solomatov, V.I. Chemical resistance of composite building materials / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev. – M.: Stroizdat, 1987. – 264 p.
5. Selyaev, V.P. Chemical Resistance of Filled Cement Composites / V.P. Selyaev, V.I. Solomatov, L.M. Oshkina; Ros. acad. architecture and building sciences. – Saransk: Publishing house of the Mordovian University, 2001. – 150 p.
6. Forecasting the durability of reinforced concrete structures with regard to sulfate corrosion of concrete / V.P. Selyaev, V.A. Neverov, P.V. Selyaev, E.V. Sorokin, O.A. Yudina // Engineering and construction magazine. – 2014. – №1. – P. 41–53.
7. On modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures / N.I. Karpenko, S.N. Karpenko, V.N. Yarmakovskiy, V.T. Erofeev. – M.: ACADEMIA. RAASN, 2015. – P. 3–18
8. Bondarenko, V.M. To the calculation of structures that change the design scheme due to corrosion damage / V.M. Bondarenko, N.V. Klyueva // Proceedings of high schools. Construction. – 2008. – №1. – P. 4–12.
9. Kolchunov, V.I. Stress-strain state of stressed and corroded-damaged reinforced concrete in the zone of inclined cracks / V.I. Kolchunov, M.S. Gubanov // Scientific Gazette of Voronezh State Agricultural Academy. Construction and architecture. – 2016. – Iss. № 2 (42). – P. 11–21.
10. Bondarenko, V.M. Concept and directions of development of the theory of constructive safety of buildings and structures under force and environmental influences / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov // Industrial and civil construction. – 2013. – №2. – P.28-33.
11. Solomatov, V.I. Chemical resistance of materials / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev, Yu.A. Sokolova. – 2 nd ed., pererab. and add. – M.: RAASN, 2001. – 284 p.

УДК 69.059.4

*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

Шеин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Зернов Владимир Викторович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Механика»

Зайцев Михаил Борисович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Механика»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Shein Aleksandr Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Zernov Vladimir Victorovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department "Mechanics"

Zaytsev Mihail Borisovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department "Mechanics"

АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ КРЫШ ЖИЛЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

А.И. Шеин, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев

На основе накопленного опыта обследования и проектирования строительных конструкций рассматриваются основные причины, приводящие к образованию протечек, наледей, сосулек на крышах жилых и гражданских зданий. Показано, что главными причинами образования названных дефектов является нарушение норм проектирования, низкое качество строительно-монтажных работ и нарушение правил эксплуатации зданий. Следствием небрежности проектировщиков, строителей, работников, принимающих здания в эксплуатацию, эксплуатирующих организаций, являются дефекты зданий. Указаны пути принятия рациональных проектных решений.

Ключевые слова: скрытые дефекты, крыши зданий, обследование, проектная документация, техническое обслуживание, износ зданий, правила эксплуатации

ANALYSIS OF DEFECTS IN THE ROOFS OF RESIDENTIAL AND CIVIL BUILDINGS

A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaytsev

On the basis of the accumulated experience of inspection and design of building structures, the main reasons leading to the formation of leaks, ice, icicles on the roofs of residential and civil buildings are considered. It is shown that the main reasons for the formation of these defects are violation of design standards, poor quality of construction and installation works and violation the rules of buildings maintenance. The result of negligence of designers, builders, workers taking buildings into operation, operating organizations, are defects of buildings. The ways of making rational design decisions are indicated.

Keywords: hidden defects, roofs of buildings, inspection, project documentation, maintenance, wear of buildings, operating rules

Практика обследования зданий и сооружений показывает, что с состоянием крыш связано 60–70 % дефектов нижележащих строительных конструкций. В связи с этим весьма важно выявить и классифицировать дефекты крыш, с тем чтобы предупредить возможные разрушения самих крыш и взаимосвязанных с ними элементов конструкций.

В строительной терминологии дефект – это несоответствие конструкции нормативным требованиям или проекту. Износ зданий ускоряется при проявлении дефектов, допущенных при проектировании и строительстве, а также при нарушении правил эксплуатации. Дефекты крыш приводят к тому, что в дождливую погоду перекрытия и

карнизы крыш многих жилых и гражданских зданий увлажняются, а зимой на карнизах образуются снеговые «мешки», наледи, сосульки. Дождевая и талая вода проникает под кровлю, увлажняет чердачное перекрытие, наружные стены и просачивается через перекрытия вплоть до отапливаемых помещений. Увлажнение стен может охватывать 2–3 верхних этажа. Многократные сезонные изменения температуры и наличие воды приводят к деградации свойств строительных материалов и постепенному разрушению строительных конструкций.

Обследования жилых и гражданских зданий различного назначения, предназначенных для ремонта, выявили основные характерные причины появления дефектов крыш.

В 2017 году авторами проводилось наружное визуальное обследование вальмовой скатной чердачной крыши с организованным водостоком одного из корпусов больницы им. Бурденко (г. Пенза) уже через год после капитального ремонта. Кровля выполнена из металлочерепицы по деревянным стропилам. Ендовы, настенные желоба и водосточные трубы обустроены кабелями системы электрообогрева против образования снеговых «мешков», наледей и сосулек.

Однако и после ремонта на карнизах продолжали образовываться снеговые «мешки», наледи, система водоотвода не справлялась с объёмом дождевой и талой воды. Стены вблизи водосточных труб намокали, вода проникала в больничные палаты (рис.1–3).



Рис. 1. Снеговой «мешок» на карнизном свесе крыши после ремонта



Рис. 2. Протечки желоба и воронки крыши



Рис. 3. Протечки желоба и воронки крыши



Рис. 4. Северный скат крыши корпуса после ремонта

В результате обследования были выявлены следующие грубые дефекты, допущенные строителями и работниками, принявшими здание в эксплуатацию после ремонта:

1. Поверхности скатов крыши имеют выступы из-за прогибов стропил и разности толщин элементов обрешётки (рис. 4). Вследствие этого в стыках листов металлочерепицы образуются зазоры, в которые беспрепятственно проникает вода. Кроме того, глубина нахлёста листов небольшая, соединения листов саморезами в некоторых местах неплотные.

2. Настенные желоба выполнены без необходимого уклона, и поэтому вода в них стоит и не стекает в водосточные трубы.

3. Отсутствуют водоприёмные лотки над водосточными трубами. Для пропуска воды в желобах над воронками пробиты отверстия сечением примерно 5×5 см (рис. 5).



Рис. 5. Типичный вид приемной воронки системы водоотвода с крыши после ремонта

4. Сечения настенных желобов, водоприёмных воронок и водосточных труб существенно уменьшены и не соответствуют нормам проектирования [СП 17.13330.2011 Кровли].

5. Неправильно сделаны капельники на свесах кровли.

Таким образом, при проектировании чердачных крыш целесообразно разработать таблицы, по которым определяются рациональные параметры чердачного покрытия в том или ином снеговом районе. Эти параметры можно определять, например, в зависимости от угла наклона крыши, расстояния между стропилами, высоты здания.

Однако качественное выполнение конструктивных элементов крыши ещё не гарантирует отсутствия наледей и протечек на карнизных участках крыш [1–10]. Другим главным фактором их образования является подогрев внутренней поверхности кровли избыточными тепловыделениями в чердачное пространство из-за неграмотного устройства крыши и ее эксплуатации. В этом случае происходит таяние пограничного слоя снега даже при отрицательных температурах наружного воздуха. Талые воды под слоем снега скатываются по пограничной зоне и замерзают на холодной поверхности нижней кромки карнизного свеса. На границе замерзания образуется «застойная» зона, где скапливается вода, образуя протечки, наледи и сосульки (рис. 6).

Протечки крыши из-за наледи на карнизе



Схема образования зимних протечек



Рис. 6. Схема образования протечек на карнизных участках скатных крыш

Таяние снега на крыше при минусовой температуре наружного воздуха, как правило, свидетельствует о плохой теплоизоляции чердачных перекрытий и отсутствии вентиляции чердака при его эксплуатации. Типичным примером такого дефекта являлась крыша Театра юного зрителя в г. Заречном Пензенской области. В результате обследования были обнаружены следующие дефекты и нарушения норм проектирования и эксплуатации крыши:

1. На всей поверхности перекрытия обнаружены большие скопления строительного, бытового и иного мусора (рис. 7). Материал утеплителя в этих местах разрушился и утратил теплозащитные свойства.



Рис. 7. Бытовой мусор на перекрытии

2. За многие десятилетия утеплитель ни разу за время эксплуатации не менялся и не ремонтировался. Толщина слоя утеплителя неравномерная. На некоторых участках перекрытия утеплитель полностью отсутствует (рис. 8, 9). На этих участках происходят значительные тепловыделения из зрительного зала в чердачное пространство.

3. По периметру чердачного перекрытия отсутствует дополнительный слой утеплителя ширины 0,75–1 м (рис. 10) [МДС 13-17.2000].

4. Отсутствуют защитная корка на утеплителе и ходовые мостики для прохода по перекрытию. Поэтому в процессе эксплуатации чердачного помещения утеплитель подвергался многократным механическим воздействиям и разрушался, теряя свои теплозащитные функции.

5. В местах пропуска тяжей и тросов для крепления технологического или иного оборудования в зрительном зале обнаружены сквозные отверстия в перекрытии (рис. 11, 12). То есть в этих местах разрушен утеплитель, пароизоляция, дощатый настил и декоративная обшивка, а следовательно, происходят значительные тепловыделения из зрительного зала в чердачное пространство.

6. Отсутствует теплоизоляция тяжей и коммуникаций, проложенных на чердаке (рис. 13).



Рис. 8. Некачественная укладка утеплителя



Рис. 9. Местное отсутствие утеплителя

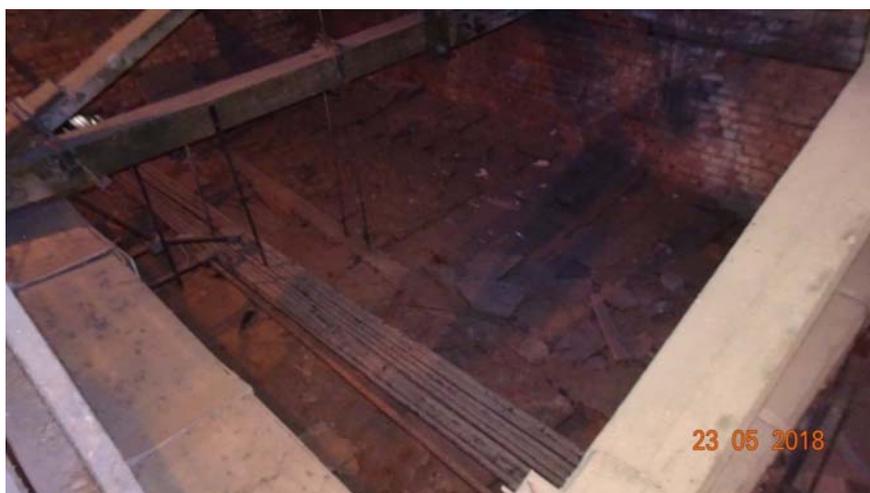


Рис. 10. Отсутствие дополнительного слоя утеплителя по периметру наружных стен



Рис. 11. Сквозное отверстие в перекрытии



Рис. 12. Сквозное отверстие в перекрытии



Рис. 13. Отсутствие теплоизоляции на коммуникациях

7. Вентиляционные продухи над мауэрлатом и в коньковой зоне отсутствуют или закрыты посторонними предметами, единственное слуховое окно закрыто (рис. 14, 15). Площадь продухов должна составлять 1/300–1/500 от площади чердачного перекрытия [СТО НОСТРОЙ 2.13.81-2012].



Рис. 14. Недостаточное количество продухов над мауэрлатом



Рис. 15. Отсутствие продухов в коньковой зоне

Из-за интенсивных тепловыделений и отсутствия вентиляции чердачного пространства возрастает тепловой поток через кровельное покрытие, происходит его нагрев до положительной (плюсовой) температуры и таяние снега на тёплых участках крыши. При этом температура на поверхности карнизного свеса крыши остаётся отрицательной. Вода стекает по теплому участку крыши и, достигая карнизного свеса, замерзает на нём и образует ледяную дамбу. Затем вследствие суточного колебания наружной температуры накопление за гребнем ледяной дамбы воды приводит к наращиванию тела ледяной дамбы, переливу или просачиванию стекающей через дамбу воды с формированием свисающих с крыши наледей (сосулек). Кроме того, вода, накопившаяся в застойной зоне, часто протекает под кровлю и увлажняет конструктивные элементы крыши, наружные стены и просачивается во внутренние помещения, тем самым негативно влияя на срок службы здания (см. рис. 6). Если обеспечить в холодном чердачном помещении температурный режим, при котором разница температуры наружного воздуха и воздуха в чердачном помещении составит 2–4°C [МДС 13-17.2000, СП 60.13330.2012], то подтаивания снежного покрова не будет происходить, а следовательно, и не будет образования наледей и сосулек.

Выводы

1. Основными причинами образования протечек, наледей и сосулек является нарушение норм проектирования, низкое качество строительно-монтажных работ и нарушение правил эксплуатации зданий, что авторы неоднократно отмечали в работах [1–10].
2. Целесообразно разработать таблицы, по которым определяются рациональные параметры чердачного покрытия в том или ином снеговом районе.
3. Суммарные расходы на периодическое обследование и ремонт составляют 13–15 % от общих расходов при ликвидации аварийной ситуации.
4. Для обеспечения расчётного срока службы зданий и сооружений необходимо проводить периодические технические обследования или вести технический мониторинг и по результатам обследований выполнять текущий ремонт, поддерживая тем самым необходимую степень надёжности конструкций в соответствии с требованиями нормативных и проектных документов.

Список литературы

1. Шеин, А.И. Некоторые причины отказа строительных конструкций / А.И. Шеин, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2016. – Т. 8, №6. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/88TVN616.pdf> (доступ свободный)
2. Шеин, А.И. Восстановление работоспособности железобетонных карнизных плит в совмещенных крышах / А.И. Шеин, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев // Моделирование и механика конструкций. – 2016. – №4. – URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/4.16/at_download/file
3. Шеин, А.И. Влияние конструктивного и эксплуатационного отказов на долговечность строительных конструкций / А.И. Шеин, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №2 (31). – С.64–71.
4. Шеин, А.И. Нормативно-правовые документы и регламенты в обеспечении надёжности зданий и сооружений / А.И. Шеин, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев, И.В. Зернов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №3 (32). – С.94–98.
5. Зернов, В.В. Способ усиления железобетонной рамы под нагрузкой / В.В. Зернов, М.Б. Зайцев, Я.А. Азимова // Моделирование и механика конструкций. – 2015. – №1. – URL: <http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/sposob-usileniya-zhelezobetonnoi-ramy-pod-nagruzkoi/view>.
6. Зернов, В.В. Усиление железобетонных перекрытий с сосредоточенными нагрузками / В.В. Зернов, М.Б. Зайцев, В.И. Гераськин // Моделирование и механика конструкций. – 2015. – №1. – URL: <http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/usilenie-zhelezobetonnyh-perekrytii-s-sosredotochennymi-nagruzkami/view>
7. Шеин, А.И. Опыт обследования зданий и сооружений / А.И. Шеин, С.В. Бакушев, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев // Моделирование и механика конструкций. – 2017. – №5. – URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no5/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/5.16/at_download/file
8. Зернов, В.В. Поэтапное усиление строительных конструкций надземной части галереи подачи песка и щебня РБУ / В.В. Зернов, М.Б. Зайцев, Я.А. Азимова // Моделирование и механика конструкций. – 2016. – № 3. – URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.24/at_download/file
9. Шеин, А.И. Опыт реновации жилого дома без расселения жильцов после отказа некоторых конструктивных элементов / А.И., Шеин В.В. Зернов, М.Б. Зайцев // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – № 2 (35). – С. 76–83.
10. Шеин, А.И. Опыт реконструкции жилого дома после внезапного отказа / А.И. Шеин, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев // Моделирование и механика конструкций. – 2018. – № 7. – URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no7/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/7.21/at_download/file

References

1. Shein, A.I. Some causes of failure of building structures / A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaitsev // Internet-journal «science of SCIENCE». – 2016. – Vol. 8, No. 6. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/88TVN616.pdf> (free access)
2. Shein, A.I. Restoration of operability of reinforced concrete eaves plates in the combined roofs / A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaitsev // Modeling and mechanics of designs. – 2016. – No. 4. – URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/4.16/at_download/file
3. Shein, A.I. The Influence of structural and operational failures on the durability of building constructions / A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaitsev // Regional architecture and engineering. – 2017. – No. 2 (31). – P. 64–71.
4. Shein, A.I. Normative-legal documents and regulations to ensure the reliability of buildings and constructions / A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaitsev, V.I. Zernov // Regional architecture and engineering. – 2017. – №3 (32). – P. 94–98.
5. Zernov, V.V. method of reinforced concrete frame reinforcement under load / V.V. Zernov, M.B. Zaitsev, Ya.A. Azimova // Modeling and structural mechanics. – 2015. – No. 1. – URL: <http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/sposob-usileniya-zhelezobetonnoi-ramy-pod-nagruzkoi/view>.
6. Zernov, V.V. Reinforcement of reinforced concrete floors with concentrated loads / V.V. Zernov, M.B. Zaitsev, V.I. Geraskin // Modeling and mechanics of structures. – 2015. – No. 1. – URL: <http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/usilenie-zhelezobetonnyh-perekrytii-s-sosredotochennymi-nagruzkami/view>
7. Shein, A.I. Experience in the inspection of buildings and structures / A.I. Shein, S.V. Bakulev, V.V. Zernov, M.B. Zaitsev // Modeling and mechanics of structures. – 2017. – No. 5. – URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no5/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/5.16/at_download/file
8. Zernov, V.V. Gradual strengthening of construction designs of the aerial parts of the gallery supply of sand and gravel RBU / V.V. Zernov, M.B. Zaitsev, J.A. Azimov // Modeling and mechanics of structures. – 2016. – No. 3. – URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.24/at_download/file
9. Shein, A.I. Experience of renovation of a residential building without resettlement of residents after failure of some structural elements / A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaitsev // Regional architecture and engineering. – 2018. – № 2 (35). – P. 76-83.
10. Shein, A.I. Experience of reconstruction of a house after a sudden failure / A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaitsev // Modeling and mechanics of structures. – 2018. – No. 7. – URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no7/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/7.21/at_download/file

УДК 624.072.21

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

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

Болдырева Ольга Вячеславовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: boov@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

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

Boldyreva Olga Vajcheslavovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Building structures»
E-mail: boov@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ КОРОТКИХ КОНСОЛЕЙ РИГЕЛЕЙ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСОВ: РАСЧЁТНЫЕ СХЕМЫ РАБОТЫ В НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЯХ

В.А. Комаров, О.В. Болдырева

Приведены результаты экспериментально-теоретических исследований сопротивления наклонных сечений в подрезках коротких консолей ригелей. Рассмотрены особенности напряженно-деформированного состояния опорной зоны, образованной подрезкой. Выявлены характер образования и схема разрушения наклонных сечений, проходящих по высоте подрезки. Дана качественная и количественная оценка прочности наклонных сечений в подрезках при действии поперечных сил.

Предложены расчетные схемы (модели), наиболее близко отвечающие реальному физическому характеру работы наклонных сечений в рассматриваемых предельных состояниях. Даны рекомендации по выполнению расчета наклонных сечений, проходящих по высоте подрезки коротких консолей ригелей.

Ключевые слова: модели, наклонные сечения, ригель, короткая консоль, подрезка

STUDY OF SHORT CROSSBARS CONSOLES OF MULTI-STOREY FRAMES: DESIGN SCHEME OF WORK IN INCLINED SECTIONS

V.A. Comarov, O.V. Boldyreva

The results of experimental and theoretical studies of the resistance of inclined sections in the short console cuts of crossbars are presented. The features of the stress-strain state of the support zone formed by undercutting are considered. The character of formation and destruction scheme of inclined sections passing through the cutting height are revealed. Qualitative and quantitative assessment of the strength of inclined sections in beam cuts under the action of transverse forces is given.

The calculation schemes (models) which most closely correspond to real physical character of work of inclined sections in the considered limit States are offered. The recommendations on calculation of oblique section passing through the height of pruning of short consoles beams are given.

Keywords: models, oblique cross sections, crossbars, short console, cut

Ригели с консольными опорами (подрезками) при опирании на скрытые консоли колонн позволяют уменьшить высоту перекрытий, обеспечивая снижение материалоемкости зданий.

Решения сборного балочного перекрытия с консольными опорами (подрезками) отвечают современным конструктивным системам и приняты в качестве типовых решений в промышленных железобетонных балочных конструкциях межвидовых связевых каркасов серий 1.020/87 и 1.020.1 массового использования.

Работа изгибаемых элементов в подрезках в настоящее время изучена сравнительно мало. Об этом свидетельствует и тот факт, что в нормативных документах при замене СНиП 2.03.01–84* на СНиП 52-01–2003 и своды правил СП 52-101–2003, СП 63.13330.2012 отсутствуют какие-либо рекомендации по проектированию и расчету подрезок.

Совершенствование методов расчета несущей способности консольных опор ригелей (с подрезками) продолжает оставаться актуальной задачей, что обусловливается важной ролью, которую они играют в обеспечении надёжности работы многоэтажных каркасов зданий.

Для элементов с резко меняющейся высотой сечения (подрезки) расчет наклонных сечений представлен в [1]. В пособии приняты невыгоднейшие наклонные сечения, проходящие через вершину входящего угла подрезки [1, черт. 24], при действии поперечных сил: сечение 2 – при расчете по поперечной силе, сечение 3 – при расчете по изгибающему моменту (нормативное расчётное сечение).

Расчет на действие поперечной силы производят как для обычных балок, при этом в расчетные формулы вводится рабочая высота h_{01} короткой консоли балки, образованной подрезкой [1, пп. 3.48; 3.49].

Экспериментально установлено, что одним из видов разрушения консольных опор ригелей является разрушение наклонных сечений, проходящих по высоте подрезки. Образование и развитие наклонных трещин может происходить в любом месте по высоте подрезки, при этом наклонные трещины (критические) занимают два крайних положения: вверху и в низу подрезки.

Критические наклонные трещины образуются и развиваются в местах концентрации главных растягивающих напряжений σ_2 в углах подрезки и имеют в этих зонах максимальное раскрытие.

Разрушение критических наклонных трещин в растянутой зоне связано с плоским поворотом (отрывом) от действия моментов.

Растягивающие усилия в наклонных сечениях передаются на сосредоточенную поперечную арматуру, устанавливаемую за подрезкой. При достижении временного сопротивления растяжению происходит её обрыв со взаимным поворотом частей элемента.

Критические наклонные трещины, проходящие по высоте подрезки, качественно одинаковые, но различаются количественно.

Наклонное сечение, проходящее через нижний угол торца подрезки, имеет меньшую несущую способность (в среднем на 20 %), что позволяет считать данное сечение также расчетным наравне с нормативным [1].

В [3, п. 8.1.31] принята методика расчета по предельным усилиям на основе модели наклонных сечений. Модели наклонных сечений на действие поперечных сил и на действие моментов для изгибаемых элементов постоянного сечения приведены в [3, рис. 8.6, 8.7].

Критические наклонные сечения, проходящие в углах подрезки, в отличие от наклонных сечений в обычных балках имеют фиксированное начало; кроме того, рекомендовано устанавливать специальную дополнительную поперечную сосредоточенную арматуру A_{sw1} за подрезкой, работающую на отрыв [1, п. 89], и продольную арматуру по низу опорной консоли A_{sc} . Поэтому в начале наклонного сечения, проходящего через входящий угол подрезки, попадает арматура A_{sw1} и A_{sc} с рабочей высотой сечения балки, равной рабочей высоте короткой консоли h_{01} ; в начало наклонного сечения, проходящего по всей высоте ригеля через нижний угол торца подрезки, попадает арматура A_{sw1} с рабочей высотой сечения, равной h_0 балки.

Для критических наклонных сечений, проходящих через подрезку и полученных экспериментально, длину проекции C на продольную ось элемента целесообразно принять: для сечения 1-1 $C_1=h_{01}$, для сечения 2-2 – $C_2=2h_{01}$.

С учетом указанных особенностей, а также экспериментальных исследований предлагаются модели критических наклонных сечений, проходящих по высоте подрезки, на действие поперечных сил (рис. 1) и на действие моментов (рис. 2).

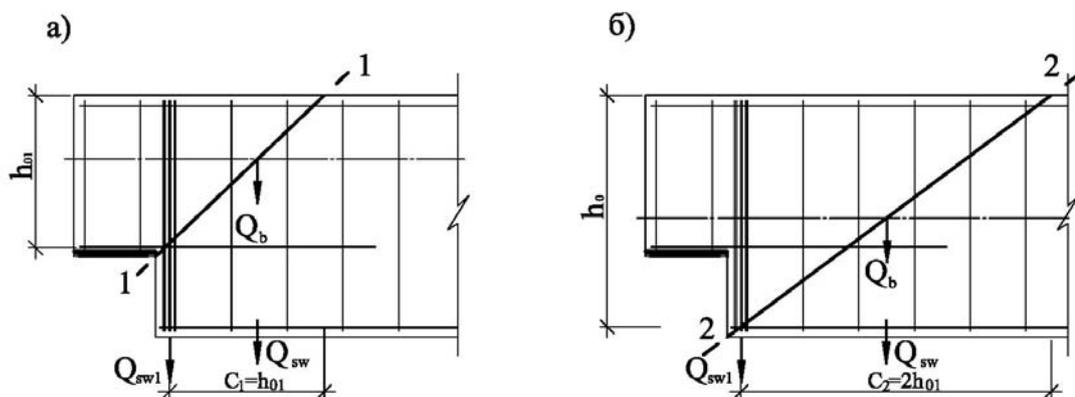


Рис.1 Модели наклонных сечений на действие поперечных сил:
а – сечение, проходящее через входящий угол подрезки (сечение 1-1);
б – то же через нижний угол торца подрезки (сечение 2-2)

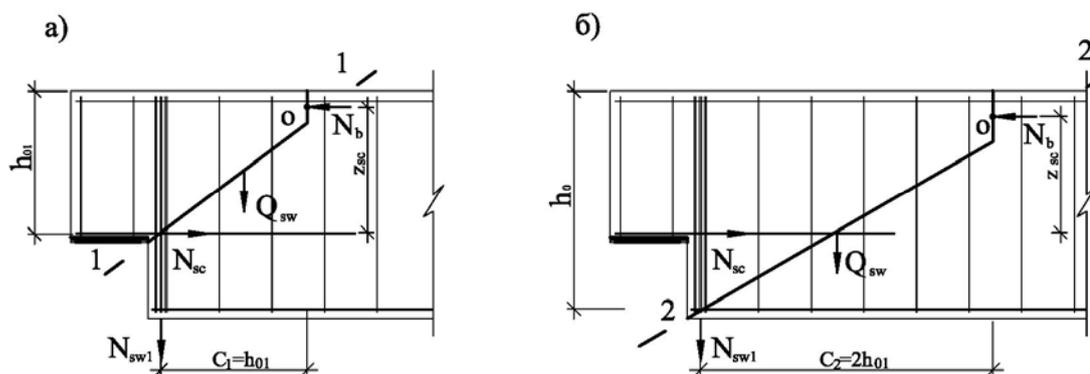


Рис.2 Модели наклонных сечений на действие моментов:
а – сечение, проходящее через входящий угол подрезки (сечение 1-1);
б – то же через нижний угол торца подрезки (сечение 2-2)

Расчетные зависимости на действие поперечных сил [3, пп. 8.57, 8.58] примут вид:
сечение 1-1

$$Q_b = 1,5R_{bt}bh_{01}^2/C_1, \quad (1)$$

$$Q_{sw} = R_{sw1}A_{sw1} + 0,75q_{sw}C_1; \quad (2)$$

сечение 2-2

$$Q_b = 1,5R_{bt}bh_{01}^2/C_2, \quad (3)$$

$$Q_{sw} = 0,75R_{sw1}A_{sw1} + 0,75q_{sw}C_2. \quad (4)$$

Расчетные зависимости на действие моментов [3, пп.8.64, 8.65] примут вид:
сечение 1-1

$$M_s = R_s A_{sc} z_{sc}, \quad (5)$$

$$M_{sw} = R_s A_{sw1} C_1 + 0,5 Q_{sw} C_1; \quad (6)$$

сечение 2-2

$$M_s = R_s A_{sc} z_{sc}, \quad (7)$$

$$M_{sw} = R_s A_{sw1} C_2 + 0,5 Q_{sw} C_2. \quad (8)$$

По зависимостям (1), (2), (5), (6) рассчитаны образцы балок, в которых разрушение происходит по наклонному сечению, проходящему через входящий угол подрезки (сечение 1-1), по зависимостям (3), (4), (7), (8) – по наклонному сечению, проходящему через нижний угол торца подрезки (сечение 2-2).

Расчет на действие моментов дает следующие результаты: для сечения 1-1 по зависимостям (5), (6) среднее отклонение $Q^{test}/Q^{calc} = 1,1$; по зависимостям (1), (2) $Q^{test}/Q^{calc} = 1,19$; для сечения 2-2 по зависимостям (7), (8) $Q^{test}/Q^{calc} = 1,05$; по зависимостям (3), (4) $Q^{test}/Q^{calc} = 1,17$.

Анализ результатов расчета показывает, что наиболее близкими к опытным разрушающим поперечным силам являются расчетные поперечные силы, определенные из условия прочности на действие моментов. В расчетных зависимостях принимаем полное сопротивление растяжению в специальной сосредоточенной поперечной арматуре, устанавливаемой за подрезкой в рассматриваемых наклонных сечениях, что согласуется с физическим экспериментом.

Расчет на действие поперечной силы наклонного сечения (по СП 63.13330.2012), проходящего через входящий угол подрезки занижает расчетную поперечную силу в 1,3 раза. Целесообразно сопротивление растяжению в специальной сосредоточенной поперечной арматуре, устанавливаемой за подрезкой в рассматриваемом расчетном сечении, принимать равным R_{sw} с $\phi_{sb}=1,0$, что также согласуется с физическим экспериментом.

Анализ образования, развития и разрушения наклонных сечений, проходящих по высоте подрезки, подтверждает и обосновывает положения, принятые при построении расчетных моделей в подрезках коротких консолей ригелей, и их можно рассчитывать на основании рекомендаций пособия [1] и СП 63.13330.2012 с учетом уточнений по расчетным зависимостям определения прочности.

Вывод

Предлагаемые модели расчетных сечений учитывают специфические особенности элемента, образованного подрезкой, наличие специальной дополнительной сосредоточенной поперечной арматуры, продольного и поперечного армирования, класс бетона.

В связи с хорошим совпадением результатов расчета по методикам нормативных документов СП 63.13330.2012 и пособия [1] с данными натурных экспериментов модели наклонных сечений в подрезках коротких консолей ригелей серий 1.020.1 и 1.020/87 могут быть рекомендованы для практического использования при расчете реальных конструкций.

Список литературы

1. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84*). – М.: ЦНТП Госстроя СССР, 1986.
2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М., 2004.
3. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М., 2013.

4. Байков, В.Н. Особенности работы приопорных участков балок / В.Н. Байков, А.С. Залесов // Бетон и железобетон. – 1984. – №7. – С.20–22.
5. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – М.: АВС, 2004. – 472 с.
6. Залесов, А.С. Расчет прочности приопорных участков балок на основе двух-блочной модели / А.С. Залесов, Г.И. Попов, Б.У. Усенбаев // Бетон и железобетон. – 1986. – №2. – С. 34–35.
7. Залесов, А.С. Расчет прочности железобетонных балок с использованием объемных элементов в развитии норм по проектированию железобетонных конструкций / А.С. Залесов, А.А. Пашанин // Строительная механика и расчет сооружений. – 2011. – №4. – С. 66–72.
8. Карпенко, Н.И. Общие модели механики железобетона / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 413 с.
9. Комаров, В.А. Экспериментальная теория сопротивления ригелей с подрезкой: монография / В.А. Комаров. – М.: Спутник +, 2013. – 199 с.

References

1. Manual for the design of concrete and reinforced concrete structures of heavy and light concrete without prestressing reinforcement (to SNiP 2.03.01-84*). – М.: CNTP of Gosstroy of the USSR, 1986.
2. SP 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing reinforcement. – М., 2004.
3. SP 63.13330.2012. Concrete and reinforced concrete structures. Fundamentals. The updated edition of SNiP 52-01-2003. – М., 2013.
4. Baykov, V.N. Features of work of support sites of beams / V.N. Baykov, A.S. Zalesov // Concrete and reinforced concrete. – 1984. – No. 7. – P. 20–22.
5. Bondarenko, V. M. Computational models of reinforced concrete power resistance: monograph / V. M. Bondarenko, V. I. Kolchunov. – М.: АВС, 2004. – 472 p.
6. Calculation of strength of support sections of beams on the basis of two-block model / A.S. Zalesov, G.I. Popov, B.U. Usenbaev // Concrete and reinforced concrete. – 1986. – No. 2. – P. 34–35.
7. Zalesov, A.S. Calculation of strength of reinforced concrete beams using volume elements in the development of standards for the design of reinforced concrete structures / A.S. Zalesov, A.A. Pasanen // Construction mechanics and calculation of structures. – 2011. – No. 4. – P. 66–72.
8. Karpenko, N.A. General models of reinforced concrete mechanics / N.A. Karpenko. – М.: Stroyizdat, 1996. – 413 p.
9. Komarov, V. A. Experimental theory of Rigel resistance with pruning: monograph / V. A. Komarov. – М.: Sputnik +, 2013. – 199 p.

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Гарькин Игорь Николаевич,
доцент кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

Глухова Мария Вячеславовна,
инженер-проектировщик ООО «Новотех»
E-mail: glukhova.mary@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

Garkin Igor Nikolaevich,
Associate Professor of the department
«Quality management and technology of
building production»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

Gluhova Maria Vacheslavovna,
engineer-designer of LLC «Novotech»
E-mail: glukhova.mary@mail.ru

МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

И.Н. Гарькин, М.В. Глухова

Рассматривается вариант усиления фундамента гражданского эксплуатируемого здания на примере торгово-офисного комплекса в г. Москве с использованием материалов, представленных в отчёте по мониторингу фундаментов (ООО «НОВОТЕХ» г. Пенза). По результатам технической экспертизы предложен проект усиления фундамента.

Ключевые слова: строительные конструкции, гражданские здания, фундаменты, усиление, мониторинг

METHODS OF STRENGTHENING FOUNDATIONS OF CIVIL BUILDINGS

I.N. Garkin, M.V. Gluhova

Strengthening of civil building foundation is considered on the example of a trade-office complex in Moscow. Materials presented in the foundation monitoring report are used («Novotech» Penza). On the results of the technical expertise, a project for reinforcing the foundation is proposed.

Keywords: building structures, civil buildings, foundations, strengthening, monitoring

В условиях стесненной городской застройки возрастает доля реконструкции и перепрофилирования зданий с увеличением этажности и полезной нагрузки, что связано с необходимостью мониторинга оснований и усиления фундаментов сооружений. Ниже рассматривается конкретный пример реконструкции административно-ведомственного десятиэтажного монолитного здания по ул. Косинской в г. Москве площадью застройки 8,5 тыс. м², построенного в 1970 году (рис. 1). Здание было полностью реконструировано в 2007 году, с увеличением этажности, что повлекло увеличение давления на уровне подошвы фундамента (отдельно стоящей на свайном основании). Стены здания опираются на фундаменты колонн; в промежутках – на железобетонный ленточный ростверк (от 1,5×1,5 м до 4,2×3,7 м); количество свай в ростверках колонн – от 5 до 13, в ростверках стен между колоннами расположены кусты из 4 свай. Глубина заложения от пола подвала – 0,40–1,90 м. Средняя длина свай от низа ростверка составляет 10,55 м (всего 3890 призматических свай; несущая способность $F_u=57,0$ тс.)

Разработка проекта усиления фундаментов здания была продиктована недостаточной несущей способностью ряда существующих фундаментов для восприятия расчетных нагрузок. Увеличение расчетных нагрузок произошло из-за надстройки двух этажей и перепрофилирования здания.

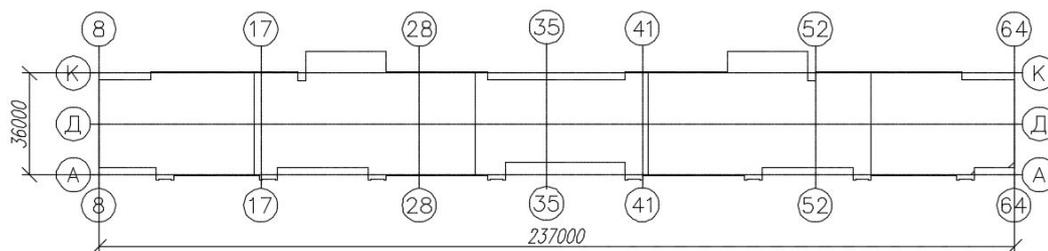


Рис. 1. План здания в осях А-К, 8-64

Вариант усиления фундаментов принят в виде свай вдавливания (рассчитывались исходя из нагрузок, позволяющих обеспечить несущую способность перегруженных фундаментов). Расчетная нагрузка на сваи усиления принималась исходя из перегруза существующих фундаментов. Несущая способность свай определялась по физико-механическим характеристикам грунтов основания и по результатам статического зондирования. Применялись сборные сваи из трубобетонных элементов ($\varnothing 219, 273, 325$ мм; сваривались по длине; рис. 2). В качестве упора использовались железобетонные ростверки. Расчетно-допускаемые нагрузки на сваи – 35, 50 и 65 тс. Контролируемое усилие при задвливании свай равно 420,0 кН, 600,0 кН, 800,0 кН (рис. 3).

Инженерно-геологические характеристики условий площадки строительства приводятся в таблице.

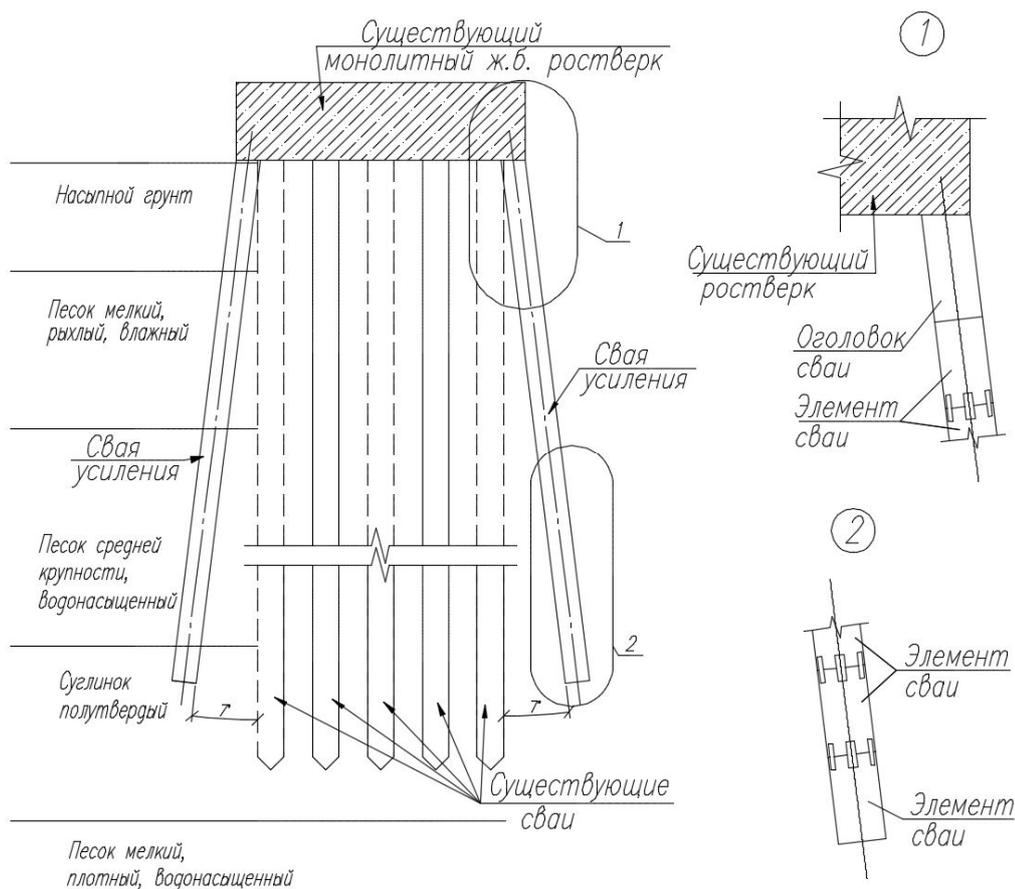


Рис. 2. Схема усиления фундаментов

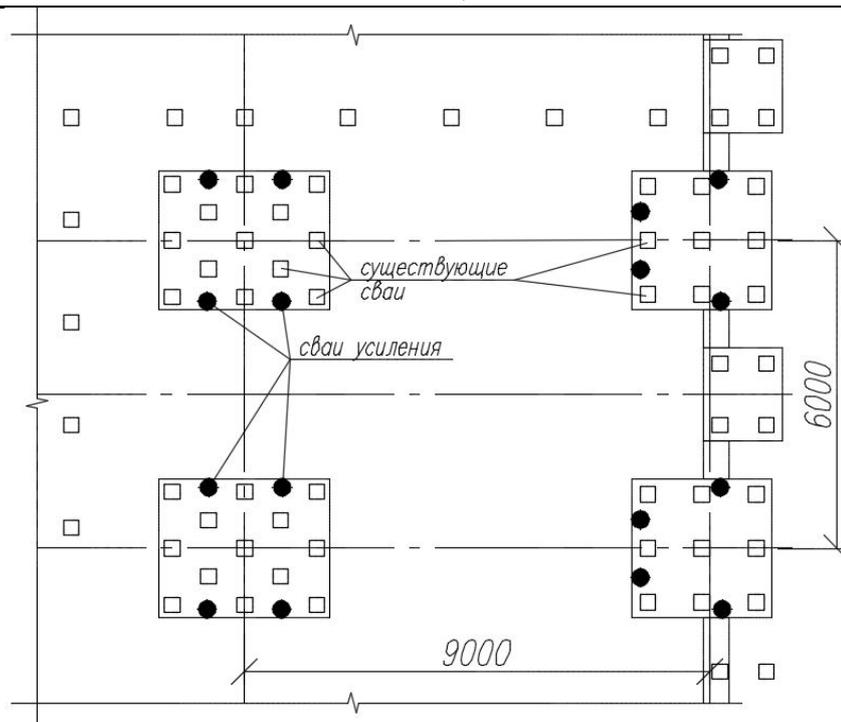


Рис. 3. Фрагмент расстановки существующих свай и свай усиления в плане

Инженерно-геологические характеристики условий площадки

№ ИГЭ	Название	Модуль деформации	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление	Удельный вес	Коэффициент пористости
		Е МПа	ϕ °	с кПа	γ кН/м ³	е д.е.
1	Насыпной грунт	-	-	-		-
2	Песок мелкий, средней плотности	20	25	-		0,61
3	Песок средней крупности	24	32	5		0,6
4	Суглинок полутвердый	28	19	13	22,0	0,39
5	Песок мелкий, плотный	38	36	5		0,52
6	Песок пылеватый, плотный	28-40	32-40	5		0,52-0,57

Определение расчетного сопротивления R грунтов основания естественного сложения под подошвой ростверка проводилось по СП 22.13330.2011, оно составило 229–336 кПа. Величина расчетных нагрузок на фундаменты определялась по нагрузкам на фундаменты здания в уровне верха ростверка. Величина нагрузок на рассчитываемые фундаменты принималась по параметрам: элементов фундаментов, конструкции надростверковой части колонны, верхней грани свайного ростверка, веса свай и грунта засыпки. Расчет столбчатых свайных фундаментов здания проводился в соответствии с положениями СНиП 2.02.03-85 и СП-50-102-2003.

Было установлено, что фактические нагрузки на сваю значительно превышают расчетные нормативные максимально допустимые значения; расчетная схема учитывала работу свайного ростверка (в связи со значительной площадью подошвы ростверков).

По результатам расчетов, проведенных с учетом совместной работы свай и плиты ростверка на грунтовом основании, установлено, что нагрузки на сваи фундамента частично превышают допустимые, в основном близки к предельно допустимым.

Состояние контакта «фундамент – грунт» во всех местах обследования удовлетворительное. Уровень подземных вод (на момент бурения) зафиксирован на глубинах 3,2–3,5 м от пола подвала. Состояние контакта свай с грунтом характеризуется как хорошее и удовлетворительное. Расчетное сопротивление грунтов основания под ростверками применительно к фундаментам здания составляет 229–336 кПа. С целью увеличения несущей способности свай производилось усиление грунтов основания фундаментов путем нагнетания специальных растворов в слой пылеватых песков на глубине 5,8–10,0 м от уровня пола подвала. Это позволило обеспечить минимальную осадку фундаментов здания. Величина расчетных нагрузок на фундаменты определялась по нагрузкам на фундаменты здания в уровне верха ростверка.

Предварительно оценивалась несущая способность забивной сваи длиной $l=7$ м диаметром $d=219$ мм, а затем производилось усиление фундаментов. Требуемая проектом расчетная нагрузка на сваю достигалась на глубине 6,5–7 м. Изготовление свай большей длины приведет к необходимости значительного увеличения усилия вдавливания и, как следствие, к усилению конструкций ростверка. Слой, принятый в качестве несущего для свай усиления, обеспечил надежную работу в диапазоне расчетных нагрузок. При принятом варианте усиления выполнялись конструктивные требования (расстояния между сваями – не менее трех диаметров; определяющий фактор надежности – достижение контролируемого усилия вдавливания при производстве работ).

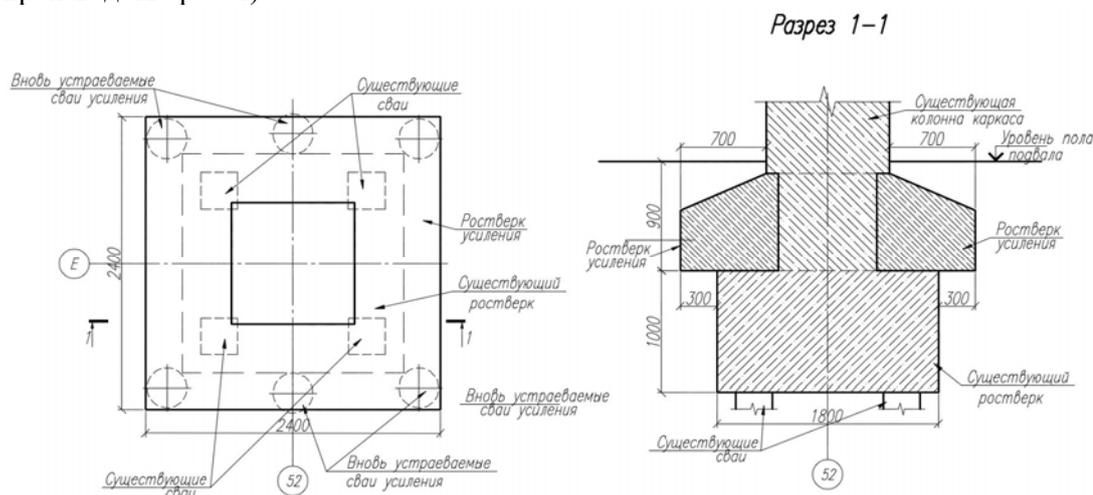


Рис. 4. Ростверк усиления в плане и разрезе

Несущая способность данных свай определялась по результатам испытания свай усиления (под ростверком существующего фундамента). Статические испытания свай вдавливания (всего 398 штук) производились по ТР 132-03 «Технические рекомендации по устройству фундаментов способом статического вдавливания свай для жилых и общественных зданий». Использовался гидравлический домкрат грузоподъемностью 200 т. Нагружение свай производилось путем упора в существующий ростверк. Контроль за перемещением опытного фундамента осуществлялся с помощью двух прогибомеров. Согласно ГОСТ 5686-94 испытание свай велось до нагрузки, превышающей расчетно-допустимую в 1,5 раза, или общей осадки сваи свыше 40 мм.

При статических испытаниях шести свай достигалась максимальная осадка (46,03 мм); усилие в домкрате – 750 кН. При предельном сопротивлении сваи ($F_u=57,0$ тс) фундамент получил осадку

$$S = \zeta \cdot S_u \cdot mt,$$

где S_u, mt – предельно-допускаемая осадка для данного типа здания, принимаемая согласно СП 50-101-2004 равной 100,0 мм; $\zeta=0,2$ – реологический коэффициент, учитывающий отличие условий кратковременных испытаний от условий работы фундамента в процессе эксплуатации.

График зависимости осадки от нагрузки приводится на рис. 5; в частности, при $S=20,0$ мм нагрузка на сваю составляет 673 кН. Величина предельного сопротивления сваи $F_u=673$ кН определялась по СП 50-101-2004 или по формуле

$$N = \frac{F_u}{\gamma_u},$$

где F_u – частное значение предельного сопротивления фундамента; γ_u – коэффициент надежности; принимался по п. 3.10 СНиП 2.02.03.-85 равным 1,2. Таким образом, нагрузка на фундамент $N=673/1,2=560,8$ кН.

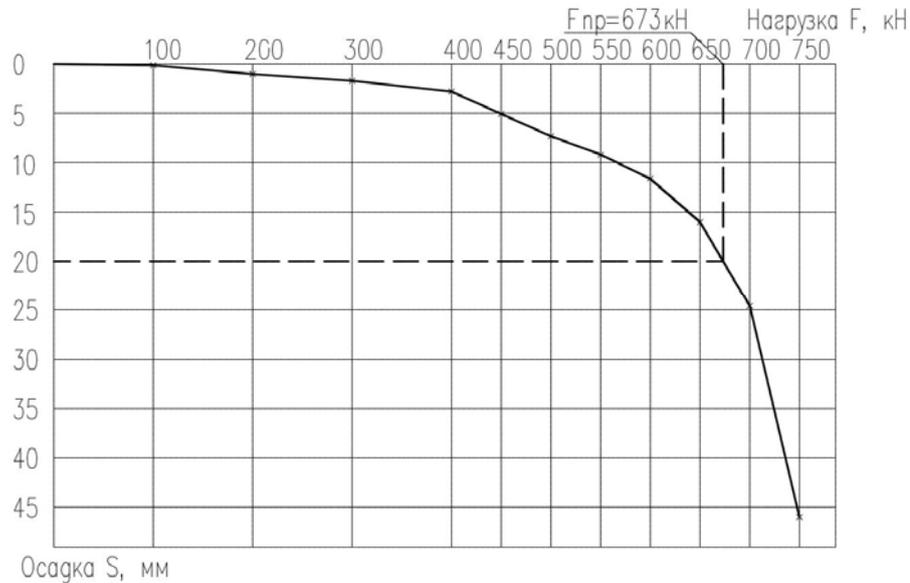


Рис. 5. График зависимости осадки S от нагрузки F

Как видим, нагрузка на усиленный фундамент не превышает предельно допустимого значения, что подтверждает эффективность предлагаемого метода усиления.

Список литературы

1. Гарькин, И.Н. Опыт обследования строительных конструкций гражданских зданий / И.Н. Гарькин, М.В. Глухова // *Фундаментальные исследования*. – № 6 (часть 2). – 2016. – С. 267–271.
2. Крутов, В.И. Свайные фундаменты из набивных свай в пробитых скважинах / В.И. Крутов, В.К. Когай, В.С. Глухов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. – 2010. – № 2. – С. 10–14.
3. Кузин, Н.Я. Оценка внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий / Н.Я. Кузин, С.Г. Багдоев // *Региональная архитектура и строительство*. – 2012. – №2. – С.79–82.
4. Гарькин, И.Н. Опыт усиления фундаментов гражданских зданий (на примере ЖСК «Жасмин») / И.Н. Гарькин, М.В. Глухова // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 9–3. – С. 473–477.
5. Клюев, С.В. Пределы идентификации природных и инженерных конструкций / С.В. Клюев, А.В. Клюев // *Фундаментальные исследования*. – 2007. – №12–2. – С.68–70.

References

1. Garkin, I.N. Experience of inspection of building designs of civil buildings / I.N. Garkin, M.V. Glukhova // *Fundamental research*. – № 6 (part 2). – 2016. – P. 267–271.
2. Krutov, V.I. Pile foundations from stuffed piles in punctured wells / V.I. Krutov, V.K. Kogai, V.S. Glukhov // *Bases, foundations and mechanics of soils*. – 2010. – № 2. – P. 10–14.

3. Kuzin, N.Ya. Evaluation of external factors on the load-carrying capacity of civil buildings / N.Ya. Kuzin, S.G. Bagdov // Regional architecture and engineering. – 2012. – №2. – P.79–82.
4. Garkin, I.N. Experience in strengthening the foundations of civil buildings (on the example of the Zhasmin ZhSK) / I.N. Garkin, M.V. Glukhova // Fundamental research. – 2016. – №. 9–3. – C. 473–477.
5. Klyuev, S.V. Limits of identification of natural and engineering structures / S.V. Klyuev, A.V. Klyuev // Fundamental research . – 2007. – № 12–2. – P.68–70.

УДК 624.074.5

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

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

Артюшин Дмитрий Викторович,
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

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

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

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПИРАМИДАЛЬНЫХ РАДИОБАШЕН ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ПОВОЛЖСКОГО РЕГИОНА

И.С. Гучкин, Н.Н. Ласьков, Д.В. Артюшин

Приводятся результаты исследований физического состояния стальных радиобашен, эксплуатируемых в экстремальных условиях и получивших значительные повреждения, грозящие обрушением. Рассматриваются характерные повреждения элементов ствола радиобашен и узлов сопряжения опорных стоек с фундаментом. Анализируются причины повреждений. Приводятся результаты статического и конструкционного расчетов. Даются рекомендации по эксплуатации, усилению и проектированию радиобашен.

Ключевые слова: радиобашня, обследование, повреждения, расчет, усиление, эксплуатация, выводы, рекомендации

ASSESSMENT OF PHYSICAL CONDITION OF PYRAMIDAL RADIO TOWERS AFTER A LONG TIME OF USE IN EXTREME CONDITIONS OF THE VOLGA REGION

I.S. Guchkin, N.N. Laskov, D.V. Artyushin

The results of studies of the physical condition of steel radio towers operating in extreme conditions and having significant damages which can lead to collapse, are given. The characteristic damages of the elements of the trunk of radio towers and the nodes of interface of the support pillars with the foundation are considered. The causes of damage are analyzed. The results of static and structural calculations are presented. Recommendations are given for the exploitation, strengthening and design of radio towers.

Keywords: radio tower, inspection, damages, calculation, strengthening, maintenance, conclusions, recommendations

Радиобашни – высотные сооружения, которые эксплуатируются в экстремальных погодных условиях и часто подвергаются чрезмерной нагрузке от ураганного ветра, обледенения или воздействия, не предусмотренного проектом навесного телекоммуникационного оборудования. Указанные обстоятельства негативно влияют на несущую способность стальных элементов ствола радиобашни и узлов сопряжения опорных стоек с фундаментом. В результате часто возникает аварийная ситуация от внезапной потери устойчивости сжатых элементов ствола; возможно также опрокидывание радиобашни.

Авторами с участием сотрудников кафедры СК ПГУАС исследовано физическое состояние пяти радиобашен, расположенных на территории Пензенской области и эксплуатируемых более 20 лет. Среди них башни: №1 – $H = 47$ м и №2 – $H = 43$ м (р.п. Ухтинка); №3 – $H = 37,5$ м (р.п. Бессоновка); №4 – $H = 35,2$ м (р.п. Шемышейка); №5 – $H = 34$ м (р.п. Лунино). Размеры радиобашен в плане, с небольшими отклонениями, составляют: по низу $5,5 \times 3,5$ м; по верху для №1 и №2 – $1,0 \times 1,0$ м; для №3 – $1,2 \times 1,2$ м и для №4 – $1,3 \times 1,3$ м; для №5 по низу – $2,8 \times 2,8$ м, по верху $1,0 \times 1,0$ м.

Радиобашни представляют собой пространственную сквозную четырехгранную конструкцию, образованную из плоских ферм и поперечных диафрагм (рис. 1, а). По высоте башни состоят из трех секций, различающихся размерами сечений несущих элементов, выполненных из равнобоких стальных уголков №63...№125. Опорные стойки нижней, средней и верхней секций выполнены соответственно из уголков 125×8 , 100×8 и 80×6 мм. Башни базируются на железобетонных фундаментах столбчатого типа (сечение 400×400 (500×500) мм), изготовленных из тяжелого бетона марок М250÷300 (класса В20) и армированных пространственным каркасом из продольных стержней класса А400 диаметром 18 (20) мм и поперечных класса А240 диаметром 6 (8) мм. Нагрузка от стоек радиобашен на фундаменты передается через стальные пластины толщиной 20 мм.



Рис. 1. Пирамидальная радиобашня:
а – общий вид башни; б – изгиб и потеря устойчивости опорной стойки

Натурное обследование радиобашен выполнялось визуально-инструментальным методом в соответствии с Пособием по обследованию строительных конструкций зданий (М.: АО «ЦНИИпромзданий», 1997) и сопутствующей информацией из [3–5]. При

этом уточнялись размеры сечений несущих элементов, вид и характер повреждений, а также прочность бетона фундаментов.

Обследование показало, что практически все радиобашни в процессе длительной эксплуатации получили существенные повреждения и деформации. Общей картиной повреждений стальных элементов нижней секции является отслоение защитного покрытия, а также питтинговая и язвенная коррозия металла на глубину 0,5...2 мм (рис. 2, а). Пространственная система радиобашен №1 и №2 местами деформирована, имеет место изгиб опорных стоек с явными признаками потери устойчивости (рис. 1, б). Аналогичные повреждения были отмечены в сжатых раскосах (рис. 2, б). Характерным для пространственной системы радиобашен №2, №4 является низкое качество исполнения узлов сопряжений раскосов и стоек. Так, на некоторых участках наблюдается малая длина сварных швов или неоправданная замена сварного соединения на болтовое (см. рис. 1, б).

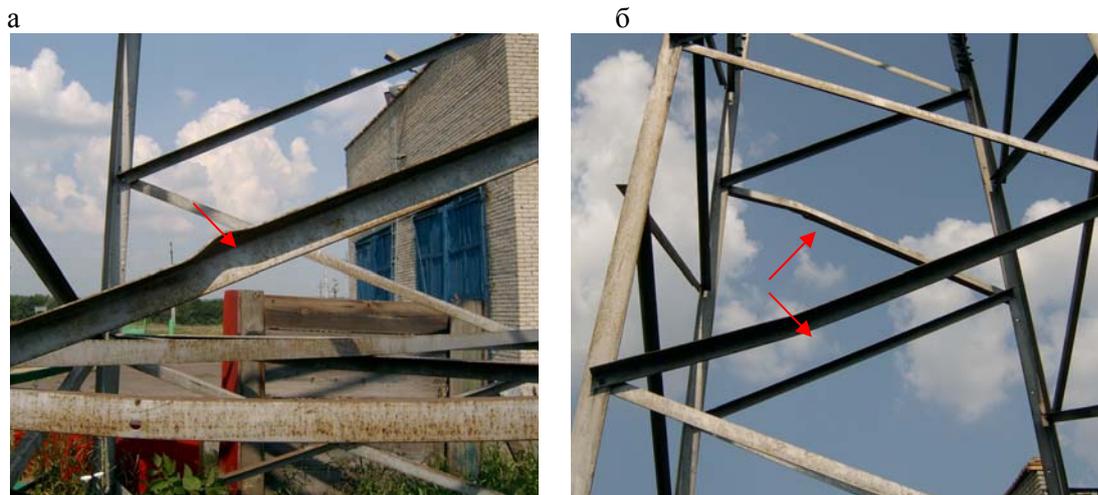


Рис. 2. Повреждения ствола радиобашни:

- а – коррозия металла и локальный выгиб раскоса;
- б – изгиб и потеря устойчивости сжатых раскосов

Наиболее слабой и подверженной разрушению является зона сопряжения опорных стоек с фундаментом (рис. 3, а, б). Обследование показало, что бетон в промежутках между опорной плитой стойки и телом фундамента практически на всех радиобашнях разрушен на глубину 10...40 мм. При этом болтовые соединения опорных стоек с фундаментом ослаблены. Подтяжка болтов производилась нерегулярно или вообще отсутствовала. В результате при пульсирующем ветровом напоре радиобашни, сильно раскачиваясь, создают ударную нагрузку от стоек на фундамент и дробят бетон.

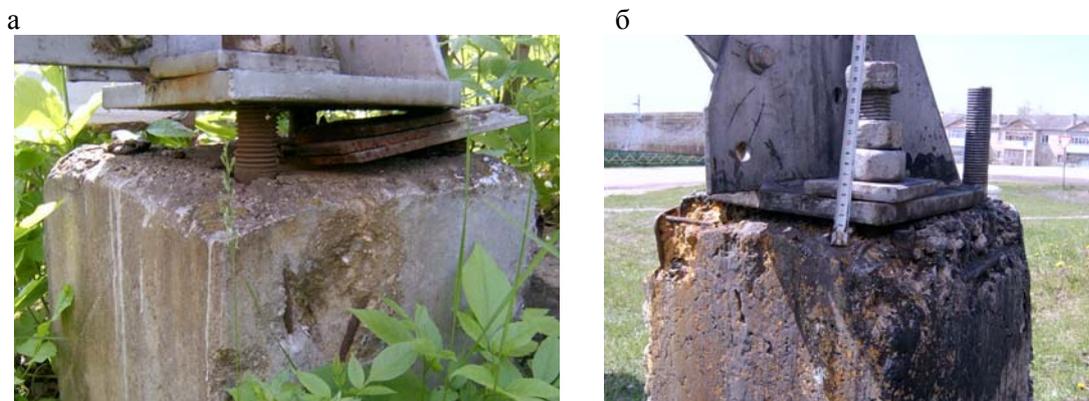


Рис. 3. Повреждения оголовков фундаментов:

- а – разрушение бетона под опорной плитой;
- б – разрушение опорной площадки и боковых граней оголовка

Исследование прочности бетона в оголовках фундаментов неразрушающим методом (прибор ОНИКС-2.5) показало, что в зоне контакта с опорной плитой прочность бетона минимальная и не превышает 50 кгс/см^2 . Но уже на расстоянии 0,6 (0,8) м от плиты показатель прочности растет до $280...310 \text{ кгс/см}^2$ и примерно соответствует проектной марке (М300). Кроме того, в оголовках многих, не обвалованных грунтом фундаментах разрушены (округлены) вертикальные грани, что свидетельствует о низкой морозостойкости бетона (см. рис. 3, б).

В ходе обследования выполнялись обмерные работы по восстановлению геометрических размеров и расчетной схемы радиобашен. Теодолитом производились измерения расстояний между узлами элементов сооружения, а также отклонений от вертикали. По результатам измерений строилась расчетная схема радиобашни, которая использовалась при выполнении расчетов прочности несущих элементов на действующие нагрузки с учетом выявленных деформаций и повреждений.

По данным теодолитной съемки, отклонение верха радиобашен от вертикальной оси в целом не превышало допустимого значения, за исключением одной (№2), где

$$\text{отклонение } \frac{f}{h} = \frac{1}{80} \text{ больше нормируемого } \left[\frac{f}{h} \right] = \frac{1}{100}.$$

Расчет радиобашен производился в соответствии с существующими нормативными документами [1, 2] и Руководством по расчету зданий и сооружений на действие ветра (М.: Стройиздат, 1978).

Ветровая нагрузка определялась как сумма средней и пульсационной составляющей:

$$w = (w_m + w_p) \gamma_f.$$

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки на высоте z над поверхностью земли

$$w_m = w_0 k c,$$

где $w_0 = 0,3 \text{ кПа}$ – нормативное значение ветрового давления; k – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте; $c = c_x (1 + \eta) \cdot k_1 = 0,28 \cdot (1 + 0,95) \cdot 1 = 0,546$ – аэродинамический коэффициент.

Здесь

$$\eta = 0,95; k_1 = 1,0; c_x = \frac{1}{A_k} \sum c_{xi} A_i \approx 1,4 \cdot 0,2 = 0,28,$$

где c_{xi} – аэродинамический коэффициент для профилей, равный 1,4; A_i – площадь проекции i -го элемента на плоскость конструкции; A_k – площадь, ограниченная контуром конструкции.

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки на высоте z над поверхностью земли

$$w_p = w_m \xi \zeta v,$$

где $\xi = 2,8$ – коэффициент динамичности; ζ – коэффициент пульсаций давления ветра на уровне z ; $v = 0,79$ – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра.

Расчетные параметры ветровой нагрузки на радиобашни w в зависимости от высоты z над поверхностью земли приводятся в табличной форме (табл. 1).

Статический расчет радиобашен выполнялся на ЭВМ с помощью программного комплекса SCAD. При этом расчетная равномерно распределенная ветровая нагрузка w приводилась к сосредоточенной, приложенной в узлах. Ниже рассматриваются результаты конструкционного расчета ствола радиобашни №3, находящейся в ограниченно работоспособном состоянии.

Расчетные параметры ветровой нагрузки на радиобашни

Отметка H , м	k	Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m , кПа	Коэффициент ζ	Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки w_p , кПа	Нормативное значение ветровой нагрузки w^n , кПа	Коэффициент надежности f	Расчетное значение ветровой нагрузки w , кПа
40	1,5	0,246	0,62	0,337	0,583	1,4	0,816
20	1,25	0,205	0,69	0,313	0,518	1,4	0,725
10	1,0	0,164	0,76	0,275	0,439	1,4	0,615
5	0,75	0,123	0,85	0,231	0,354	1,4	0,496

Проверка несущей способности сжатых элементов ствола радиобашни

Исходные данные: материал стальных элементов – класс С38/23; расчетное сопротивление $R_y = 210$ МПа. Расчетные геометрические параметры сжатых элементов (стоек и раскосов) приведены в табл. 2.

Проверка несущей способности сжатых элементов производилась в соответствии с нормами проектирования [2] из условия

$$N_c = R_y \cdot \varphi A \gamma_c > N,$$

где $\gamma_c = 0,9$ – коэффициент условия работы; A – площадь сечения; φ – коэффициент продольного изгиба; N – усилие по результатам расчета на ЭВМ; N_c – предельное сжимающее усилие, воспринимаемое сжатым элементом.

Т а б л и ц а 2

Расчетные геометрические параметры устойчивости сжатых элементов радиобашни

№ секции элемент	Профиль, L	A , см ²	i , см	l , м	μ	$l \cdot \mu$, м	λ	φ
I стойка	125×8	19,69	3,87	2,55	1,14	2,91	75,3	0,747
II стойка	100×8	15,6	3,07	2,18	1,14	2,49	81,4	0,714
раскос	80×6	9,38	(1,604)	4,36	0,82	3,57	$222,7 > [\lambda]=120$	-
III стойка	80×6	9,38	2,46	1,44	1,14	1,65	66,84	0,79

Несущая способность стоек в секциях 1, 2, 3 соответственно:

$$N_{c1} = 210 \cdot 10^3 \cdot 0,747 \cdot 19,69 \cdot 10^{-4} \cdot 0,9 = 278 \text{ кН} > N_1 = 138,3 \text{ кН};$$

$$N_{c2} = 210 \cdot 10^3 \cdot 0,714 \cdot 15,6 \cdot 10^{-4} \cdot 0,9 = 210,5 \text{ кН} > N_2 = 74,4 \text{ кН};$$

$$N_{c3} = 210 \cdot 10^3 \cdot 0,79 \cdot 9,38 \cdot 10^{-4} \cdot 0,9 = 140 \text{ кН} > N_3 = 33,6 \text{ кН} -$$

условия удовлетворяются.

Гибкость раскоса в секции 2:

Расчетная длина $l_{ef} = \mu_d l_{dc} = 0,82 \cdot 4356 = 3572$ мм, где $\mu_d = 0,82$ – коэффициент расчетной длины; $l_{dc} = 0,8 \cdot 5445 = 4356$ мм – условная длина раскоса.

Гибкость элемента $\lambda = \frac{357,2}{1,604} = 222,69 > [120]$ – превышает предельное значение.

Таким образом, обследование и конструкционные расчеты показали, что из пяти радиобашен четыре (№1, №3, №4, №5) имеют существенный физический износ от электрохимической коррозии стальных элементов ствола и механических повреждений бетона оголовков фундаментов. Они требуют локального усиления поврежденных участков и ремонта. Радиобашня №2 имеет недопустимые деформации элементов ствола (стоек и раскосов), масштабное разрушение бетона оголовков фундаментов под опорными стойками и находится в аварийном состоянии.

Выводы

Обобщены и проанализированы результаты расчета несущей способности пирамидальных радиобашен на силовые воздействия.

Изучено физическое состояние радиобашен после длительной эксплуатации в экстремальных условиях.

Установлены зоны радиобашен, наиболее подверженные существенному физическому износу: в узле сопряжения стоек с фундаментом произошло раздробление бетона под опорной плитой; в стальных элементах нижней секции ствола наблюдались питтинговая и язвенная коррозии.

На основании проведенных исследований разработаны следующие рекомендации: не допускать эксплуатацию радиобашен с признаками истощения несущей способности; демонтировать не предусмотренное проектом технологическое оборудование в вершинах радиобашен; усилить стальные элементы башен, имеющие чрезмерную гибкость или значительные механические повреждения; усилить узлы сопряжения стоек с оголовками фундаментов; выполнить подтяжку болтовых соединений, омонолитить разрушенные участки оголовков фибробетоном класса В25 (М300).

При проектировании радиобашен, с целью увеличения износоустойчивости и долговечности оголовков фундаментов, назначать класс (марку) бетона фундамента не ниже В30 (М400) и марку по морозостойкости F200.

Список литературы

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: Минстрой России, 2016. – 105 с.
2. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – М.: Минрегион России, 2011. – 172 с.
3. Гучкин, И.С. Эксплуатация и реконструкция сооружений / И.С. Гучкин, Н.Н. Ласьков. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 195 с.
4. Муленкова, В.И. Расчет и конструирование усиления железобетонных и каменных конструкций / В.И. Муленкова, Д.В. Артюшин. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 118 с.
5. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Т. 8, № 5-8. – С. 219–225.

References

1. SP 20.13330.2016. Loads and impacts. Updated version of SNiP 2.01.07-85*. – M.: Ministry of Construction of Russia, 2016. – 105 p.
2. SP 16.13330.2011. Steel constructions. Updated version of SNiP II-23-81*. – M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2011. – 172 p.
3. Guckin, I.S. Maintenance and reconstruction of constructions / I.S. Guckin, N.N. Laskov. – Penza: PGUAS, 2014. – 195 p.
4. Mulenkova, V.I. Calculation and design of strengthening reinforced concrete and masonry structures / V.I. Mulenkova, D.V. Artyushin. – Penza: PGUAS, 2014. – 118 p.
5. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, № 5-8. – P. 219–225.

УДК 692.526-143:694.143

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Вдовин Вячеслав Михайлович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Карпов Владимир Николаевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: Karpov5656@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Vdovin Vyacheslav Mikhailovich,
Candidat of Sciences, Professor
of the department «Building constructions»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Karpov Vladimir Nikolaevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building constructions»
E-mail: Karpov5656@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ КЛЕЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ ПЕРЕКРЫТИЯ С ЦЕЛЬНОДЕРЕВЯННЫМИ И КОМБИНИРОВАННЫМИ НЕСУЩИМИ РЕБРАМИ

В.М. Вдовин, В.Н. Карпов

Предлагается новая конструкция несущих ребер, склеенных из древесины и древесностружечных плит. Дается сравнительный анализ результатов натуральных испытаний панелей с предлагаемыми ребрами.

Ключевые слова: панель перекрытия, клееная панель, несущие ребра, испытания, оценка результатов

COMPARATIVE ANALYSIS OF GLUED LAMINATED PANELS WORK WITH SOLID WOOD AND COMBINED BEARING RIBS

V.M. Vdovin, V.N. Karpov

A new design of load-bearing ribs glued from wood and particle board is proposed. The results of full-scale tests of panels with the proposed ribs are given. The comparative analysis of test results is given.

Keywords: floor panel, glued panel, bearing ribs, tests, evaluation of results

Полносорборный деревянный дом собирается из крупных клеенных панелей длиной до 10 метров. Панели выполняются [1, 2], как правило, 3-слойной конструкции и состоят из двух обшивок и несущих ребер. В качестве обшивок желательно использовать длинномерные листовые древесноплитные материалы, например древесностружечные плиты (ДСП) размером 2500x5000 мм, а несущие ребра выполнять либо из той же ДСП, либо деревянными из пиломатериала соответствующих размеров досок согласно сортаменту. Обшивки и ребра склеиваются между собой, что дает основание учитывать в расчетах их совместную работу. Несущая способность и жесткость всей панели существенно зависят от материала и размеров элементов обшивок и ребер.

Исследования и опыт строительства показали, что панели с ребрами из древесностружечных плит обладают ограниченной несущей способностью и требуют надежных стыков как ребер, так и обшивок. Панели с несущими ребрами из древесины лишены этих недостатков, но при достаточно большой мощности домостроительных комбинатов требуют значительного расхода пиломатериалов.

Предлагается несущие ребра панелей делать комбинированными, т.е. клееными из деревянных брусков и древесностружечных плит [3]. Ребра выполняются коробчатого сечения, при этом полки делаются из деревянных брусков, а стенки – из древесностружечной плиты. На первый взгляд может показаться, что такие ребра сложны в изготовлении. Однако они могут быть легко изготовлены на тех же технологических линиях, где собираются сами панели. Для этого делается клееная заготовка, изображенная на рис. 1, которая затем распиливается на отдельные элементы коробчатого сечения для использования их в качестве несущих ребер панелей.

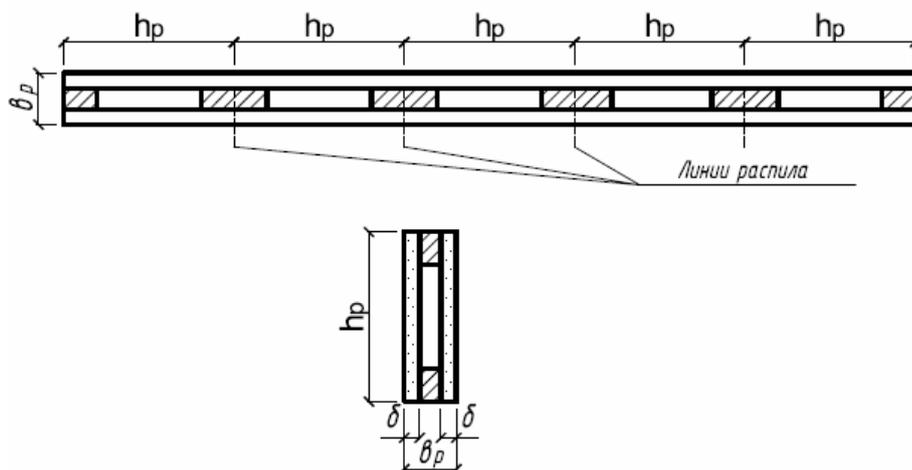


Рис. 1. Поперечное сечение заготовки и ребра (коробчатый элемент).

Размеры комбинированного ребра (h , b , b_p , h_p , δ) подбираются расчетом, исходя из требуемой несущей способности и жесткости панели.

Для оценки работы панелей с ребрами коробчатого сечения были проведены испытания их кратковременными нагрузками с доведением нагружения до разрушения и с измерением прогибов и деформаций. Испытания выполнялись на стенде, допускающем проведение испытаний большепролетных панельных конструкций.

Цели испытаний – сравнить работу панелей с цельнодеревянными и коробчатыми несущими ребрами в одинаковых условиях эксплуатации, дать оценку работы панели и показать возможность применения коробчатых ребер в несущих панелях полносборных домов.

Испытанию одновременно подвергались два типа панелей: панели с цельнодеревянными и панели с комбинированными ребрами. Для того чтобы исключить факторы, влияющие на результаты испытаний, образцы выбирались из одной крупной заготовки размером 2400×9500 мм путем распиловки ее по ширине на четыре части, размер каждой 600×9500 мм. Было сделано две заготовки, из которых получили шесть фрагментов. Отобранные фрагменты включали в себя по три ребра, соответственно деревянных или комбинированных. Поперечные сечения фрагментов панелей показаны на рис. 2. Длина фрагментов принималась равной 9500 мм (как в натуральных панелях для полносборного дома).

Образцы-фрагменты испытывались по схеме 2-пролетной неразрезной балки, исходя из фактической схемы работы панелей в системе полносборного дома с мансардой, т.е. схема работы и действующие нагрузки были максимально приближены к реальным условиям работы панелей в системе полносборного дома. Схема нагружения панели-фрагмента показана на рис. 3. Испытания проводились до разрушения образцов.

В процессе испытаний фиксировались на каждом этапе нагружения деформации в обшивках и прогибы панелей. С этой целью использовались тензодатчики и прогибомеры Аистова с ценой деления 0,01 мм. Схема расстановки приборов показана на рис. 4.

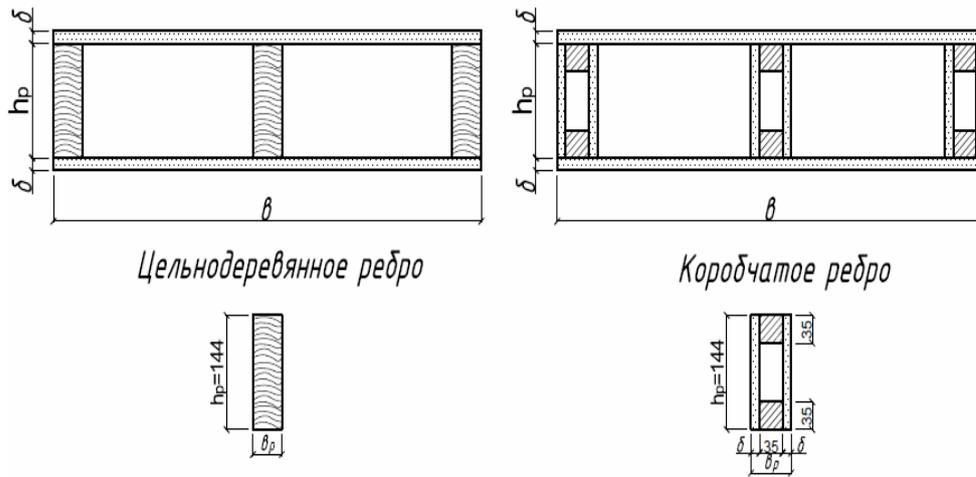


Рис. 2. Поперечные сечения испытываемых панелей

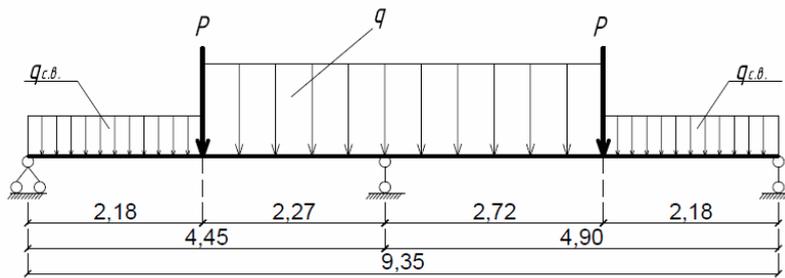


Рис. 3. Схема нагружения панелей-фрагментов

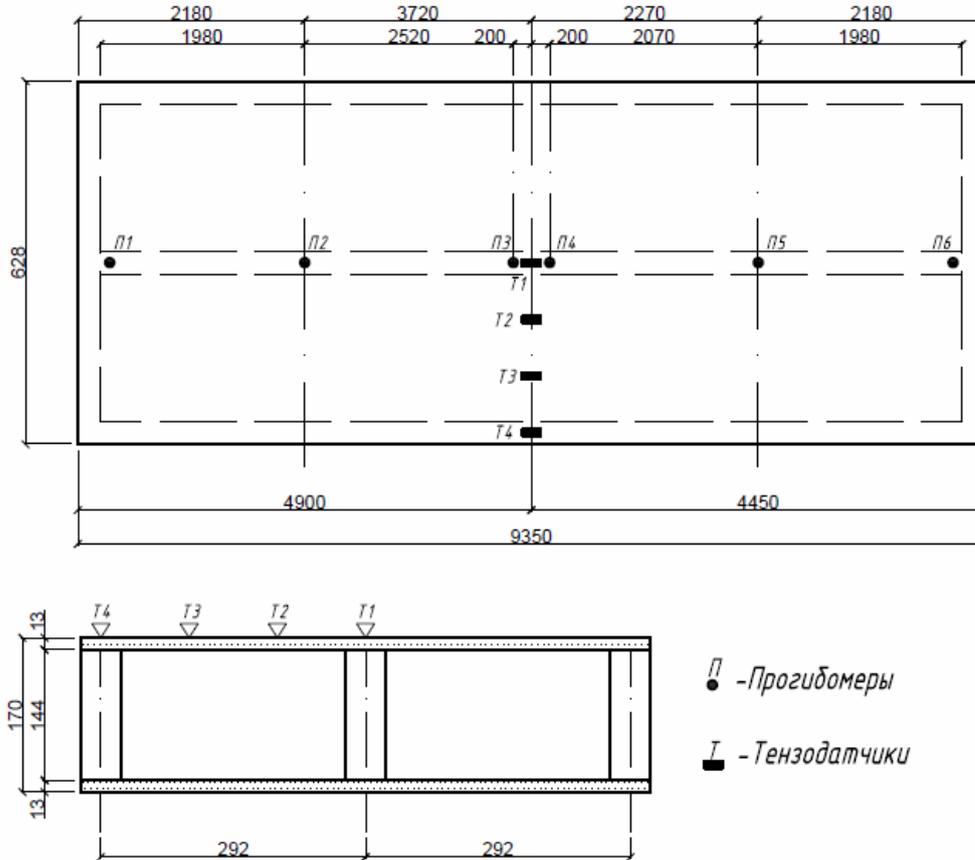


Рис. 4. Схема расстановки приборов

Нагрузка прикладывалась ступенями, величина ступени нагружения принималась равной: $\Delta P = 0,75$ кН – для сосредоточенной силы и $\Delta q = 0,267$ кН/п.м – для распределенной нагрузки. Сосредоточенные силы создавались двумя домкратами, подключенными к одной насосной станции, а распределенная нагрузка – кирпичом, укладываемым по длине фрагмента столбиками размером 50×50 см с зазором между соседними столбиками не менее 150 мм.

Перед началом испытаний домкраты вместе с монометрами торировались, кирпич взвешивался на контрольных весах.

Результаты испытаний фрагментов приведены в таблице и на рис. 5.

Результаты испытания панелей-фрагментов

Вид ребра	Марка фрагмента	Основные размеры, мм				Разрушающая нагрузка		Наибольший прогиб при (мм)		Наибольший разрушающий момент, кН·м	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{расч}}}$	Характер разрушения
		ребра		фрагмента		P, кН	q, кН·м	P ^н и q ^н	q _{контр} , P _{контр}			
		b _p	h _p	b	h							
Цельнодеревянное	ФП1	44	144	650	170	21,77	1,73	-	-	23,25	3,66	Разрыв растянутой обшивки вблизи средней опоры и под сосредоточенной силой. Отрыв обшивки от ребер
Коробчатое	ФП2	61	144	600	170	11,20	3,52	8,45	18,6	16,376	2,61	Разрыв растянутой обшивки вблизи средней опоры и под сосредоточенной силой. Отрыв обшивки от ребер
Цельнодеревянное	ФП3	44	144	630	170	18,75	3,20	5,1	10,2	22,253	3,55	То же
Цельнодеревянное	ФП4	44	144	700	170	21,75	3,20	6,2	14,8	24,803	3,96	Разрыв растянутой обшивки у средней опоры. Скалывание ребер
Коробчатое	ФП5	61	144	650	170	10,50	3,20	6,34	13,1	16,241	2,43	Разрыв растянутой обшивки по стыку вблизи средней опоры. Отрыв обшивки от ребер
Коробчатое	Ф6	61	144	640	170	9,74	3,20	-	-	14,603	2,36	То же как для ФП5 и потеря устойчивости сжатой обшивки вблизи сосредоточенной силы

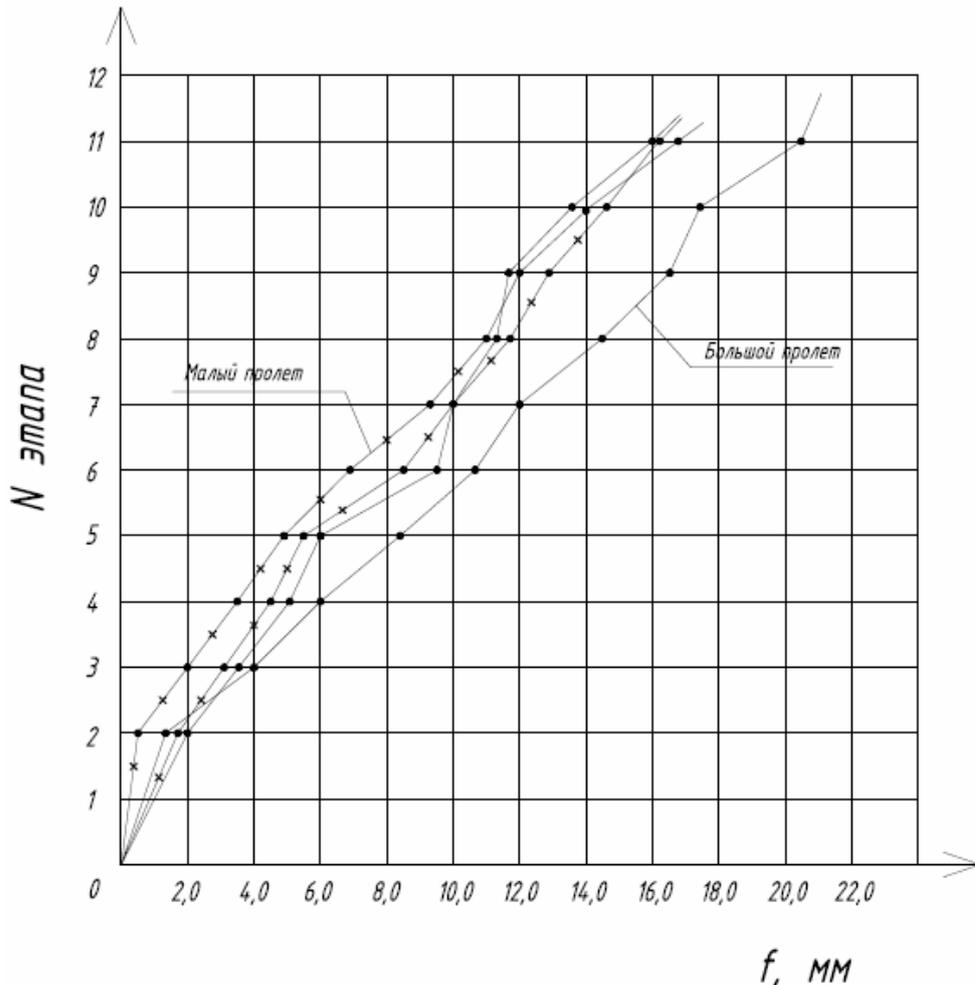


Рис. 5. Нарастание прогибов в испытанных панелях:
 —x—x— для образцов с коробчатыми ребрами;
 —•—•— для образцов с цельнодеревянными ребрами

По ряду технических причин для всех испытанных фрагментов не удалось сохранить синхронность всех нагрузок до момента разрушения, поэтому оценка результатов работы фрагментов произведена по абсолютной величине изгибающего момента, подсчитанного при разрушающих нагрузках $q_{\text{разр}}$ и $P_{\text{разр}}$. Коэффициенты надежности работы фрагментов определены также по величинам максимальных изгибающих моментов при действии фактических $q_{\text{разр}}$ и $P_{\text{разр}}$, т.е.

$$k = \frac{M_{\text{разр}}}{M_{\text{расч}}}$$

Сравнивая результаты испытаний фрагментов с цельнодеревянными и коробчатыми ребрами, приходим к выводу, что несущая способность и жесткость панелей с коробчатыми ребрами относительно мало отличаются от аналогичных величин, характерных для панелей с цельнодеревянными ребрами. Хотя при этом следует отметить, что расход древесины на ригели коробчатого сечения почти на 60 % меньше, чем на ригели цельнодеревянные.

Необходимо указать также, что для всех испытанных фрагментов получены достаточно высокие коэффициенты надежности (от 2,33 до 3,96) применительно для расчетных нагрузок, действующих на перекрытие в доме серии 101-1-3Д.

Нарастание прогибов по этапам для панелей с цельнодеревянными и коробчатыми ребрами показано на рис. 5. Как видно, в процессе испытания не обнаружено резкого нарастания прогибов до момента разрушения фрагментов, что говорит о незначитель-

ной величине неупругих деформаций. Оценивая жесткость по графикам на рис. 5, трудно отдать предпочтение каким-либо панелям. Максимальная величина прогиба при условной нормативной нагрузке составила сравнительно небольшую величину (от 5,1 до 8,4 мм), что составляет (1/500 – 1/610) от пролета.

По показаниям тензорезисторов получены картины изменения деформаций в обшивке. Как и следовало ожидать, имело место неравномерное распределение напряжений по ширине обшивки, а именно над ребрами они больше, а на участках между ребрами – меньше. Относительное изменение между максимальными напряжениями над ребрами по сравнению с минимальными напряжениями на участках между ребрами составило 3–5 %, к тому же в панелях с коробчатыми ребрами неравномерность напряжений меньше, поскольку ребра имеют большую ширину.

Разрушение фрагментов происходило в основном после разрыва растянутой обшивки и, как правило, по стыку обшивки, если стык находился вблизи сечения с максимальным изгибающим моментом. После разрыва обшивки происходило полное разрушение ребер и всей панели. В некоторых фрагментах с деревянными ребрами наблюдалось скалывание ребер вблизи опор и действия сосредоточенных сил. Это явление было связано с наличием неоднородности строения древесины (сучков, косослоя и т.п.).

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Результаты испытания фрагментов панелей с коробчатыми ребрами показали высокую несущую способность и жесткость, вполне сопоставимые с несущей способностью и жесткостью панелей таких же размеров с ребрами цельнодеревянными.

2. Применение ребер коробчатого сечения в панелях полносборных домов позволит уменьшить расход древесины на каждую панель до 60 % по сравнению с панелями, в которых ребра приняты цельнодеревянными.

3. Применение коробчатых ребер в панелях перекрытий позволяет изготавливать панели с большим диапазоном геометрических характеристик, а следовательно, и с большим разнообразием величин несущей способности и жесткости.

Список литературы

1. Вдовин, В.М. Полносборный деревянный дом из крупных промышленных панелей: монография / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 148 с.
2. Вдовин, В.М. Промышленные панели перекрытий для полносборных деревянных домов (оптимизация и поиск рациональных конструкций): монография / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов. – М.: ФГУП ВНИИТПИ, 2001. – 90 с. – № 11835. Вып. 1.
3. Вдовин, В.М. Новая конструкция ребер панелей / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов // Сельское строительство. – 1989. – № 6. – С. 36–37.

References

1. Vdovin, V.M. Full-length wooden house from large industrial panels: monograph / V.M. Vdovin, V.N. Karpov. – Penza: PGUAS, 2015. – 148 p.
2. Vdovin, V.M. Industrial floor panels for full-assembled wooden houses (optimization and search of rational structures): monograph / V.M. Vdovin, V.N. Karpov. – M.: FSUE VNIINTPI, 2001. – 90 p. – No. 11835, Vol. 1.
3. Vdovin, V.M. New design of ribs of panels / V.M. Vdovin, V.N. Karpov // Rural construction. – 1989. – № 6. – P. 36–37.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

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 «Теплогазоснабжение,
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

Бирюков Александр Валерьевич,
кандидат технических наук, директор
научно-исследовательского центра
АО «Гипрониигаз»

E-mail: Biryukov@niigaz.ru

Хомутов Антон Олегович,
начальник технического отдела
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

Biryukov Alexander Valeryevich,
Candidate of Sciences, Director of the
research center of Giproniigaz PLC

E-mail: Biryukov@niigaz.ru

Homutov Anton Olegovich,
Head of technical Department of Giproniigaz
PLC

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАСОРЕНИЯ ОДНОЙ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ СЕТКИ МЕХАНИЧЕСКИМИ ПРИМЕСЯМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НА ФИЛЬТРУЮЩЕМ КАРТРИДЖЕ ГРУБОЙ ОЧИСТКИ

А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.В. Бирюков, А.О. Хомутов

Смоделирован процесс засорения фильтрующего картриджа в виде ряда последовательно уменьшающихся живых сечений ячеек сетки, позволяющий рассчитывать степень его засорения механическими примесями в зависимости от газодинамических потерь в любой момент эксплуатации фильтрующего устройства.

Ключевые слова: моделирование, процесс засорения, газодинамические потери, фильтрующий картридж, механические примеси, живое сечение, сетка

MODELING OF A SINGLE MECHANICAL GRID CLOGGING IMPURITIES DEPENDING ON CHANGE OF GAS LOSSES ON THE FILTERING CARTRIDGE PRE-FILTERMIC LOSSES IN THE FILTER CARTRIDGE COARSE

A.P. Usachev, A.L. Shuraitis, A.V. Biryukov, A.O. Homutov

Simulated process of clogging the filter cartridge in the form of a series of successively diminishing living sections of the grid, allowing to calculate the degree of clogging mechanical admixtures, depending on gas dynamic losses at any time operation of the filtering device.

Keywords: modeling, contamination process, gas loss, filter cartridge, mechanical impurities, living section, grid

Введение

Опыт эксплуатации устройств очистки показывает, что для поддержания степени очистки сетевого газа, необходимой для эффективной и надежной работы головных пунктов редуцирования (ГПР), рекомендуется устанавливать двухступенчатые цилиндрические устройства (ДЦУ) с цилиндрическими фильтрующими картриджами (ЦФК) грубой и тонкой очистки.

Проведенный анализ и опыт газораспределительных организаций показывают, что 70 % механических частиц в общем балансе примесей оседает на ЦФК грубой очистки [1], и поэтому, первоочередным вопросом является выявление степени засорения его фильтрующей однослойной сетки в любой момент эксплуатации. Основой ЦФК грубой очистки является металлическая однослойная сетка, которая накапливает механические примеси только со стороны своей наружной поверхности, поэтому быстро засоряется и требует значительного количества операций по их удалению [2, 3].

В настоящее время определение степени засорения механическими примесями осуществляется путем визуального осмотра ЦФК по величине живого сечения ячеек фильтрующей сетки. При этом проводить оценку степени засорения фильтрующей сетки механическими примесями в этот момент, а также предшествующие и последующие ему периоды как основного показателя необходимости удаления механических примесей из фильтрующего устройства, без демонтажа болтовых соединений и крышки ДЦУ, не представляется возможным. В связи с этим расчетное определение степени засорения фильтрующего картриджа в любой момент времени является насущно необходимой задачей в проектной и эксплуатационной практике.

1. Постановка задачи к предлагаемым методическим положениям применительно к ЦФК, выполненному из сетки

В научных и практических трудах Сазерланда К. [2], Мохатаба С. [3], Стаскевича Н.Л. [4], Карякина Е.А. [5] приводятся отдельные рекомендации по определению газодинамических потерь на фильтрующих картриджах, не засоренных механическими примесями. В работе Усачева А.П., Шурайца А.Л., Бирюкова А.В. [6] сделана попытка определения критического значения пропускной способности ЦФК в процессе его засорения механическими примесями. Однако в работе отсутствуют постановка задачи, математическое описание процесса засорения сетки ЦФК, не приведены принимаемые допущения, отсутствует алгоритм определения степени засорения фильтрующего картриджа в любой момент эксплуатации в зависимости от газодинамических потерь на нем. В связи с этим разработка методических положений, аналитически описывающих динамику засорения фильтрующего картриджа механическими примесями в любой момент эксплуатации в зависимости от изменения газодинамических потерь на нем, является весьма актуальной.

Допущения к постановке задачи. 1. Засорение механическими примесями происходит только внутри ячеек сетки, при этом толщина фильтрующего слоя сохраняется постоянной. 2. Отверстия в ячейках, образующиеся в процессе засорения механическими

примесями и имеющие изначально, согласно ГОСТ 6613–86, квадратную форму [7], продолжают сохранять форму квадрата.

Постановка задачи к предлагаемым методическим положениям применительно к ЦФК, выполненному из сетки, выглядит следующим образом. Сетевой газ с максимальным содержанием механических примесей по ГОСТ 5542 [8] при газодинамических потерях Z_m и постоянном расчетном расходе $V_p = \text{const}$ проходит очистку в фильтрующем картридже из сетки с ячейками в форме квадрата с m -м типоразмером ячейки сетки.

В процессе очистки на сетке осаждаются механические примеси. Результатом этого является уменьшение живого сечения ячеек сетки, сохраняющих форму квадрата (рис.1). Номер типоразмера ячеек сетки m изменяется до значений: $m = a, c, e, \dots, j$, ширина квадратных ячеек в свету изменяется до: $b_{m=a}, b_{m=c}, b_{m=e}, \dots, b_{m=j}$, а расстояние между двумя соседними ячейками изменяется до $L_{m=a}, L_{m=c}, L_{m=e}, \dots, L_{m=j}$. При этом газодинамические потери Z_m увеличиваются до значений: $Z_{m=a}; Z_{m=c}; Z_{m=e}; Z_{m=j}$.

2. Моделирование процесса засорения одной фильтрующей сетки механическими примесями

В начальный момент относительной величине живого сечения сетки

$$b_{m=a}^2 / (b_{m=a} + L_{m=a})^2 \tag{1}$$

соответствует степень ее засорения механическими примесями θ , равная нулю. На j -м этапе эксплуатации в качестве загрязненного условно принимается фильтрующий картридж с ячейкой, имеющей меньший номинальный размер $b_{m=j}$ (при $m=j$), по сравнению с размером $b_{m=j-1}$ (при $m = j-1$) на ее предыдущем $(j-1)$ -м этапе (рис. 1).

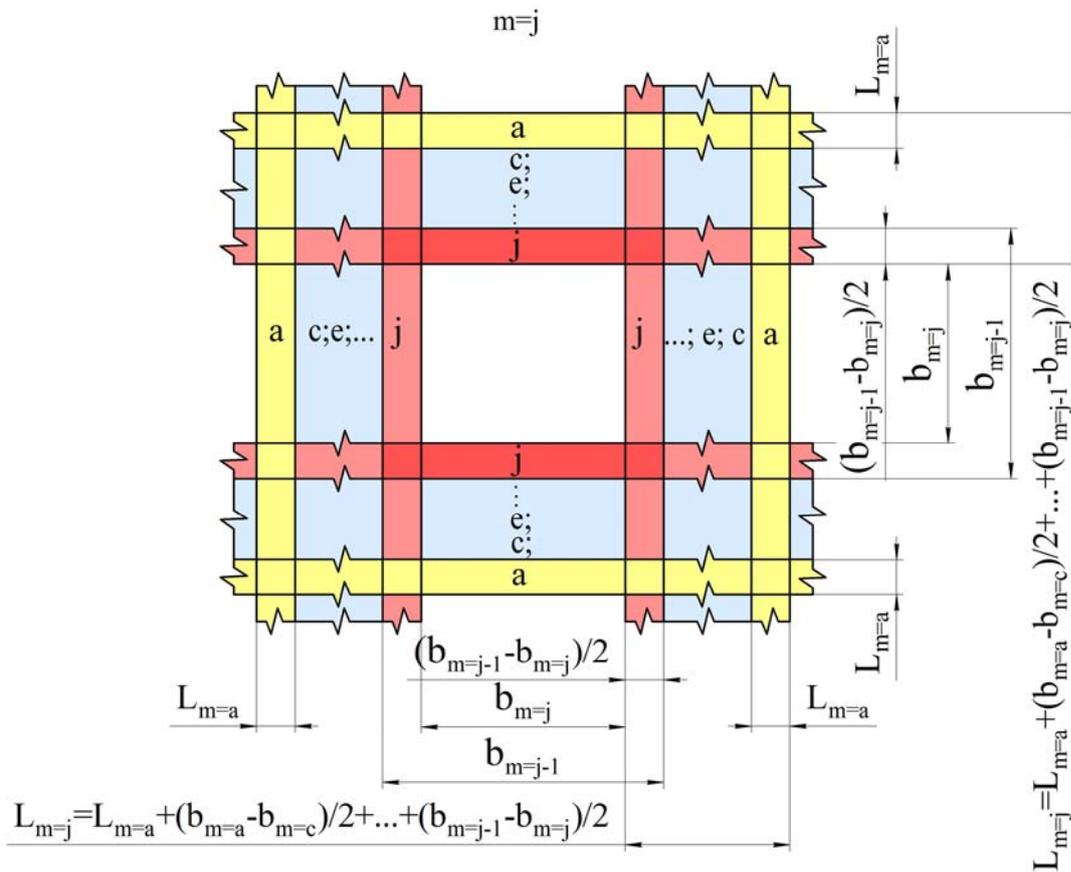


Рис. 1. Фрагмент сетки, засоренной механическими примесями, с ячейкой номинального размера $b_{m=j}$ с расстоянием между ячейками $L_{m=j}$

Уменьшение любого предыдущего размера ячейки сетки с $b_{m=j-1}$ до последующего $b_{m=j}$ в процессе ее засорения представляется как увеличение расстояния между ячейками сетки до величины:

$$L_{m=j} = L_{m=a} + \sum_{m=1}^{m=j} (b_{m=j-1} - b_{m=j}), \quad (2)$$

где $b_{m=j-1}$, $b_{m=j}$ – предыдущий и последующий размеры квадратной ячейки фильтрующей сетки, загрязненной механическими примесями, м.

Относительную величину живого сечения сетки квадратной формы в любой момент эксплуатации можно представить как отношение величин живого и общего сечений сетки, с учетом изменяющегося, согласно (2), расстояния между ячейками $L_{m=j}$, то есть

$$b_{m=j}^2 / \left[b_{m=a} + L_{m=a} + \sum_{m=a}^{m=j} (b_{m=j-1} - b_{m=j}) \right]^2. \quad (3)$$

Тогда, зная общую площадь F сетки по ГОСТ 6613 [7], которая необходима для очистки природного газа с расходом V_p , абсолютную величину живого сечения с учетом формулы (3) определяем как:

$$F_{ж} = F \cdot b_{m=j}^2 / \left[b_{m=a} + L_{m=a} + \sum_{m=a}^{m=j} (b_{m=j-1} - b_{m=j}) \right]^2, \quad (4)$$

где F – паспортная величина полной площади сетчатого картриджа, м².

В любой момент эксплуатации при $m=j$ относительной величине живого сечения сетки соответствует степень ее засорения механическими примесями, равная в долях от единицы:

$$\theta_{m=j} = \frac{\frac{b_{m=a}^2}{(b_{m=a} + L_{m=a})^2} - \frac{b_{m=j}^2}{\left[b_{m=a} + L_{m=a} + \sum_{m=a}^{m=j} (b_{m=j-1} - b_{m=j}) \right]^2}}{\frac{b_{m=a}^2}{(b_{m=a} + L_{m=a})^2}}. \quad (5)$$

Формула по определению газодинамических потерь записывается, согласно зависимости Вейсбаха [9], следующим образом:

$$Z_m = \zeta_{ф.к.м} \cdot \frac{\omega_p^2}{2 \cdot g} \cdot \rho_{г}, \quad (6)$$

или, представляя скорость ω_p как отношение расхода V_p к площади живого сечения $F_{ж}$, определяемой в соответствии с (4), находим относительную величину живого сечения ячеек сетки в зависимости от ее газодинамических потерь:

$$\left\{ \frac{b_{m=j}^2}{\left[b_{m=j} + L_{m=a} + \sum_{m=a}^{m=j} (b_{m=j-1} - b_{m=j}) \right]^2} \right\}^2 = \zeta_{ф.к.м=j} \cdot \frac{V_p^2}{Z_{m=j} F^2 2 \cdot g} \cdot \rho_{г}. \quad (7)$$

В формулах (3)–(7) приняты следующие обозначения: V_p – пропускная способность фильтрующего устройства при величине избыточного давления газа на входе в фильтр, м³/с; F – паспортная величина полной площади сетчатого картриджа, м²; $L_{m=a}$ – значение номинального расстояния между ячейками сетки, м; $b_{m=a}$ – величина номинального начального размера ячейки чистой сетки в свету, не загрязненной механическими примесями, м; $\zeta_{\text{ф.к.м}=j}$ – величина коэффициента местного сопротивления сетчатого картриджа, характерная для текущего размера $b_{m=j}$, обусловленного его загрязнением механическими примесями; $Z_{m=j}$ – величина газодинамических потерь на сетчатом картридже, характерная для текущего размера $b_{m=j}$, обусловленного его загрязнением механическими примесями, даПа; ρ_r – плотность сетевого газа на входе в фильтрующий картридж при значении избыточного давления на входе в фильтр, кг/м³, принимается в соответствии с [4]; g – величина ускорения свободного падения, равная 9,8 м/с².

Значения $b_{m=a}$ и $L_{m=a}$ принимаются по [7] в зависимости от расчетного размера механических примесей природного газа, улавливаемых ячейками сетчатого картриджа. Величина $\zeta_{\text{ф.э.м}=j}$ для сетчатого картриджа, имеющая место для текущего размера и сечения ячейки, вычисляется в соответствии с данными, приведенными в [10].

Таким образом, формулы (5) и (7) позволяют представить процесс засорения фильтрующего картриджа как ряд живых сечений ячеек сетки, величина которых последовательно уменьшается, выявить характер изменения газодинамических потерь на фильтрующем картридже в зависимости от уменьшения живого сечения фильтрующей сетки в процессе ее засорения, более обоснованно подойти к определению степени засорения фильтрующего картриджа и величины газодинамических потерь перед очередным удалением из фильтра механических примесей.

3. Результаты расчетов по моделированию процесса засорения одной фильтрующей сетки механическими примесями

Результаты расчетов на основе формул (5) и (7) по определению степени засорения ячеек сетки механическими примесями в зависимости от изменения газодинамических потерь на фильтрующем картридже с начальным размером ячейки, равным $b_{m=a}=0,080 \cdot 10^{-3}$ м, проведенных при давлении $P = 1,2$ МПа, представлены на рис. 2.

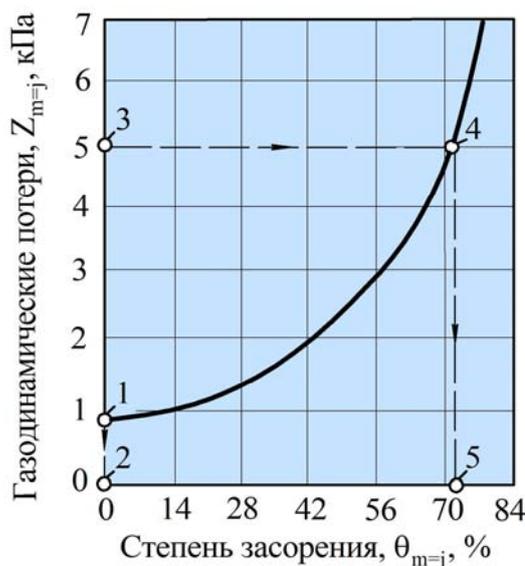


Рис.2. Степень засорения ячеек сетки фильтрующего картриджа в зависимости от газодинамических потерь на нем с начальным размером ячейки $b_{m=a} = 0,080$ мм

Из рис. 2 следует, что для фильтра с чистой фильтрующей сеткой $m=a$, начальным размером ячейки, равным $b_{m=a}=0,080 \cdot 10^{-3}$ м, степень засорения ячеек сетки механическими примесями имеет нулевое значение $\theta_{m=a}=0$ % при величине газодинамических потерь на чистом фильтрующем картридже, равной $Z_{m=a}=0,8$ кПа (точки 1→2 на рис. 2). Из рисунка также следует, что для фильтрующего устройства с засоренной фильтрующей сеткой в момент $m=j$, при достижении на фильтрующем картридже расчетной величины газодинамических потерь $Z_{m=j}=5,0$ кПа, при которой осуществляется удаление загрязнений, степень засорения ячеек сетки механическими примесями составит $\theta_{m=j}=72$ % (точки 3→4→5 на рис. 2).

Разработанные методические положения, позволяющие аналитически определять степень засорения фильтрующего картриджа в любой момент эксплуатации в зависимости от газодинамических потерь на нем, могут быть использованы в проектной и эксплуатационной практике при расчете геометрических параметров ЦФК и фильтров в целом, а также при определении оптимальных значений степени засорения перед очередной операцией по удалению из них механических примесей.

Выводы

В результате исследований разработаны методические положения, описывающие процесс засорения фильтрующего картриджа механическими примесями как ряд живых сечений ячеек сетки, величина которых последовательно уменьшается, и позволяющие аналитически определять степень засорения фильтрующего картриджа в любой момент эксплуатации в зависимости от газодинамических потерь на нем.

Список литературы

1. Густов, С.В. Источники возникновения и размеры взвешенных в природном газе твердых частиц / С.В. Густов // Нефтегазовое дело. – 2011. – Т. 9, № 4. – С. 98–101.
2. Sutherland K. Filters and Filtration: handbook / K. Sutherland. – 5 ed. – Elsevier Science, 2008. – 523 p.
3. Mokhatab, S. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing / S. Mokhatab, W.A. Poe. – Second Edition. – Elsevier Inc., 2012. – 802 p.
4. Стаскевич, Н.Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа / Н.Л. Стаскевич, Г.Н. Северинец, Д.Я. Вигдорчик. – Л.: Недра, 1990. – 762 с.
5. Промышленное газовое оборудование: справочник. – 6-е изд., перераб. и доп. – Саратов: Газовик, 2013. – 1125 с.
6. Разработка положений по автоматическому контролю критического значения пропускной способности фильтра, образованного параллельно соединенными фильтрующими элементами/ А.В. Бирюков, А.Л. Шурайц, А.П. Усачев, А.Е. Даньшев // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2014. – № 6. – С. 506–519. – URL: http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p506-519_UsachevAP_ru.pdf.
7. ГОСТ 6613–86. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1988. – 12 с.
8. ГОСТ 5542–2014. Межгосударственный стандарт. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015. – 10 с.
9. Чугаев, Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев. – 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 672 с.
10. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.

References

1. Gustov, S.V. Sources and Sizes of Solids Suspended in the Natural Gas / S.V. Gustov // Oil and Gas Business. – Ufa, 2011. – Т. 9, No. 4. – P. 98–101.
2. Sutherland K. Filters and Filtration: handbook / K. Sutherland. – 5 ed. – Elsevier Science, 2008. – 523 p.

3. Mokhatab, S. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing / S. Mokhatab, W.A. Poe. – Second Edition. – Elsevier Inc., 2012. – 802 p.
4. Staskevich, N.L. Handbook of supply and use of gas / N.I. Staskevich, G.N. Sevyarynets, D.J. Vigdorichik. – Leningrad: Nedra, 1990. – 762 p.
5. Industrial gas equipment: reference book. – Saratov: Gazovik, 2013. – 1125 p.
6. Working out propositions on automatic control of critical value for filter transmissive capacity formed by parallel connected air filter units/ A.P. Usachev, A.L. Shuraitis, A.V. Biryukov, A.E. Danshev // Oil and Gas Business: electronic scientific journal. – 2014. – No. 6. – P. 506–519. – URL: http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p506-519_UsachevAP_ru.pdf.
7. GOST 6613–86. Steel woven mesh with square meshes. Technical conditions. – M.: Publishing standards IEC, 1988. – 12 p.
8. GOST 5542–2014. Interstate standard. Combustible natural for industrial and household purpose. Technical conditions. – M.: Standartinform, 2015. – 10 p.
9. Chugaev, R.R. Hydraulics / R.R. Chugaev. – 4th Ed. – Leningrad: Energoizdat, 1982. – 672 p.
10. Idelchik, I.E. Handbook for hydraulic resistances / I.E. Idelchik. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 559 p.

УДК 697.93

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

Аверкин Александр Григорьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Теплогазоснабжение и
вентиляция»
E-mail: algraw@mail.ru

Ерёмкин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: eremkin@pguas.ru

Киселев Сергей Олегович,
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: issk11@rambler.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Averkin Aleksander Grigorievich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Heat and Ventilation»
E-mail: algraw@mail.ru

Eremkin Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Heat and ventilation»
E-mail: eremkin@pguas.ru

Kiselev Sergey Olegovich,
Postgraduate of the department « Heat and
Ventilation»
E-mail: mihail-frolovv@yandex.ru

КОНТАКТНЫЙ АППАРАТ С ВИБРОНАСАДКОЙ ДЛЯ УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА

А.Г. Аверкин, А.И. Еремкин, С.О. Киселёв

Оценена эффективность работы контактного аппарата с вибронасадкой в режиме адиабатического увлажнения воздуха с применением математического метода планирования экспериментов. Выявлено влияние режимных и конструктивных параметров на эффективность тепловлажностной обработки воздуха. Проведена оптимизация процесса с применением метода крутого восхождения (метод Бокса – Уилсона). Показана возможность эффективной замены импортных насадок на основе целлюлозы в камерах сотового увлажнения воздушного потока на отечественные листовые насадки с вибровозбудителем.

Ключевые слова: системы кондиционирования воздуха, адиабатическое увлажнение, контактный аппарат, вибровозбудитель, амплитуда и частота вибрации, площадь насадки,

INVESTIGATION OF WORK OF CONTACT EQUIPMENT WITH VIBRONS

A.G. Averkin, A.I. Eremkin, S.O. Kiselev

The efficiency of the contact apparatus with vibro-attachment in the adiabatic humidification mode is estimated using the mathematical method of experiment planning. The influence of regime and design parameters on the efficiency of heat and moisture treatment of air is revealed. The process was optimized using the steep ascent method (the Box-Wilson method). The possibility of effective replacement of imported nozzles on the basis of cellulose in chambers of cellular humidification of air flow on domestic sheet nozzles with a vibration exciter is shown.

Keywords: air conditioning systems, adiabatic humidification, contact apparatus, vibration exciter, amplitude and frequency of vibration, nozzle area

Системы кондиционирования воздуха являются важной составляющей многих производственных процессов [1]. Руководители предприятий внедряют оборудование, отвечающее современным требованиям энергосбережения.

Как показала практика [1–3], контактными аппаратами с низким энергопотреблением являются устройства с орошаемой насадкой, в частности камеры сотового увлажнения. В водяном контуре используется рециркуляционная вода (вода из

поддона камеры насосом подается на верх насадки, затем, стекая по ней вниз, она поступает снова в поддон и т.д.); её расход должен быть достаточным для поддержания пористого материала насадки в состоянии гигроскопического насыщения. Таким образом, требуемый напор насоса зависит только от гидравлических потерь в водяном контуре установки, что позволяет применять циркуляционные насосы с низким энергопотреблением.

Известно [1], что интенсивность массообмена dM между рабочими средами (масса водяных паров, поступающих в единицу времени в воздушный поток) оценивается уравнением массопередачи

$$dM = kF\Delta_{cp}, \quad (1)$$

где k – коэффициент массопередачи, с/м; F – поверхность массопередачи (поверхность контакта между воздухом и водой), m^2 ; Δ_{cp} – средняя движущая сила (разность парциальных давлений водяного пара у поверхности водяной пленки и в воздухе), Па.

Как следует из уравнения (1), в качестве определяющего конструктивного параметра в контактном аппарате для увлажнения воздуха является площадь контакта между воздухом и водой.

Стандартной насадкой для тепломассообменного аппарата является кассета из гигроскопичного материала (вискоза, картон, пропитанный различными смолами и др.). В камерах сотового увлажнения, которыми комплектуются центральные кондиционеры, выпускаемые Московской фирмой «ВЕЗА», в качестве контактной поверхности применяется импортная насадка на основе спрессованной определённым способом целлюлозы [1, 4].

Фирма Munters (Швеция) поставляет насадки Glasdek, Celdek; фирма Hutek (Тайвань) – Glaspad, CeLPad. Технические характеристики этих насадок практически схожи [4]. Например, материал CeLPad 0790 имеет: высоту ячейки – 7 мм, угол пересечения ламелей для воздуха и воды – $a = 45^\circ$, $b = 45^\circ$, площадь поверхности испарения (удельная поверхность) – $460 \text{ м}^2/\text{м}^3$ (рис. 1,а).

Для импортозамещения насадки для данных устройств, снижения ее стоимости авторы предлагают использовать плоскую листовую насадку в режиме механической вибрации (вибронасадку) (рис. 1,б).



Рис. 1. Насадки:
а – на основе спрессованной целлюлозы (CeLPad);
б – листовая для режима механической вибрации

На основе экспериментальных исследований, направленных на модернизацию типовых устройств, на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» разработан, изготовлен и смонтирован контактный аппарат с вибронасадкой из различного материала (гигроскопического, негигроскопического) (рис. 2) [1, 2].

Устройство для тепловлажностной обработки воздуха с вибронасадкой работает следующим образом.

С помощью радиального вентилятора 1 воздух проходит через воздуховод 4, увлажнительный блок листовой насадки 6. Насадка находится в режиме механической вибрации за счет вращения маховика-эксцентрика 12, закрепленного на валу электродвигателя 13. Листовая насадка постоянно орошается рециркуляционной водой, поступающей из поддона 17 в верхний перфорированный поддон с помощью насоса 18.

Температура воды стабилизируется на уровне температуры мокрого термометра воздуха, т.е. тепловлажностная обработка воздуха соответствует режиму адиабатического увлажнения и охлаждения [2, 3].

Воздух увлажняется за счет пленочного контакта воздушного потока с влажными листьями насадки из гигроскопичного материала (вискозы) 6 и – дополнительно – за счет испарения ореола водяных капель и брызг, образующихся при механической вибрации влажных листов насадки.

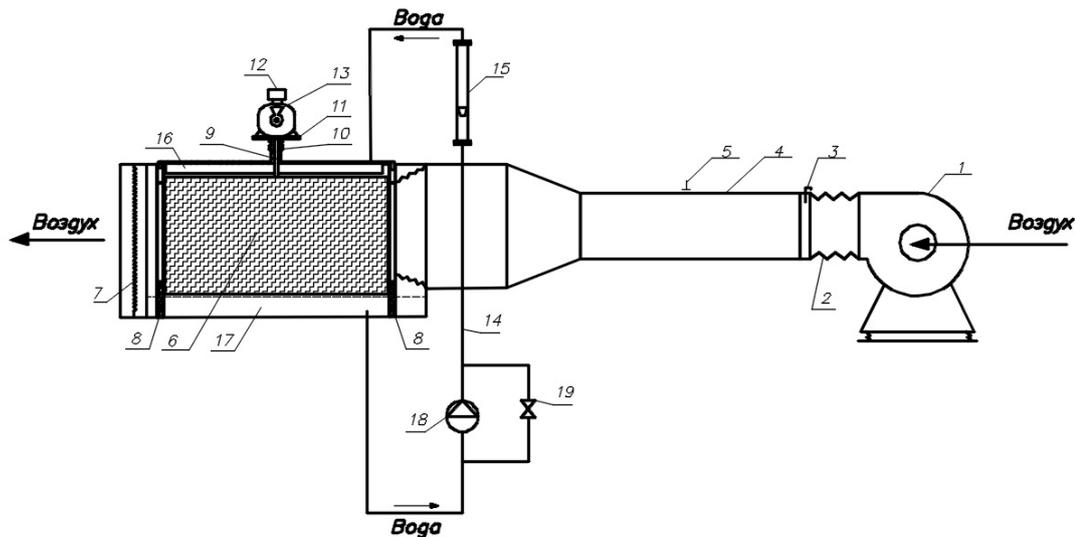


Рис. 2. Схема контактного аппарата с вибронасадкой:

1 – вентилятор; 2 – гибкая вставка; 3 – шиберная заслонка; 4 – воздуховод камеры; 5 – питомерический лючок; 6 – блок листовой насадки; 7 – каплеуловитель; 8 – пружина-амортизатор; 9 – шток; 10 – демпфер; 11 – площадка для электродвигателя; 12 – маховик-эксцентрик; 13 – электродвигатель; 14 – водяная линия; 15 – ротаметр; 16 – верхний перфорированный поддон; 17 – нижний поддон; 18 – насос; 19 – шаровой кран

Для оценки эффективности адиабатического увлажнения воздуха, влияния технологических и конструктивных параметров контактного аппарата с вибронасадкой реализован полный факторный эксперимент ПФЭ 2^4 [1].

В качестве независимых переменных (факторов) выбраны: X_1 – коэффициент орошения (0,5...2,0); X_2 – частота вибрации насадки (30...50), Гц; X_3 – площадь насадки (0,85...1,71), m^2 ; X_4 – амплитуда вибрации насадки (4...6), мм. Функцией отклика являлся коэффициент эффективности работы аппарата:

$$Y = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{1m}}, \quad (2)$$

где t_1 , t_2 , t_{1m} – температура воздуха соответственно на входе, выходе из аппарата и на входе по мокрому термометру воздуха, °С.

Математическая обработка экспериментальных данных осуществлялась по стандартной методике [1]. Воспроизводимость опытов оценивалась по критерию Кохрена, значимость коэффициентов регрессии – по критерию Стьюдента, адекватность уравнения регрессии – по критерию Фишера.

Получена математическая модель в виде регрессионного уравнения (2), адекватно описывающего тепловлажностную обработку воздуха в контактном аппарате пленочного типа при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

$$Y = 0,30 + 0,011X_1 + 0,036X_3 - 0,008X_4. \quad (2)$$

Как следует из анализа уравнения (2), на коэффициент эффективности работы контактного аппарата значимое влияние оказывают коэффициент орошения и площадь насадки, влияние частоты вибрации насадки (фактор 2) оказалось незначимым.

На втором этапе экспериментальных исследований были выполнены конструктивные изменения в лабораторном стенде:

- усовершенствована конструкция каплеуловителя, что уменьшило аэродинамическое сопротивление воздушного тракта;
- амплитуда вибрации насадки зафиксирована на нижнем уровне;
- площадь насадки повышена до $2,27 \text{ м}^2$ за счет увеличения количества пластин насадки;
- в качестве насадки приняты листы из негигроскопичного материала (полиэтиленовая пленка).

На модернизированном лабораторном стенде проведена серия дополнительных экспериментов, реализован ПФЭ 2^3 . Уровни варьирования факторов приведены в табл. 1, матрица планирования экспериментов – в табл. 2.

Получена математическая модель в виде регрессионного уравнения (3), адекватно описывающего тепловлажностную обработку в контактном аппарате пленочного типа при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

$$Y = 0,36 + 0,027X_1 + 0,016X_2 + 0,09X_3. \quad (3)$$

Анализ уравнения (3) показывает: на коэффициент эффективности работы контактного аппарата с листовой насадкой из негигроскопичного материала (Y) значимое влияние оказывали все принятые факторы, особенно площадь листовой насадки.

Т а б л и ц а 1

Уровни варьирования факторов

Факторы	Уровни варьирования		
	Нижний(-)	Основной (0)	Верхний(+)
X_1 – коэффициент орошения	0,5	1,5	2,0
X_2 – частота вибрации насадки, Гц	30	40	50
X_3 – площадь насадки, м^2	1,13	1,7	2,27

Т а б л и ц а 2

Матрица планирования ПФЭ 2^3 и результаты ее реализации

Номер опыта	Факторы			Функции отклика		\bar{Y}	$S_y^2 \cdot 10^4$	\hat{Y}
	X_1	X_2	X_3	Y'	Y''			
1	+	+	+	0,50	0,52	0,51	2,0	0,49
2	-	+	+	0,44	0,42	0,43	3,7	0,44
3	+	-	+	0,47	0,45	0,46	3,1	0,46
4	-	-	+	0,38	0,42	0,40	8,3	0,41
5	+	+	-	0,29	0,30	0,30	0,3	0,31
6	-	+	-	0,27	0,27	0,27	0,0	0,26
7	+	-	-	0,28	0,29	0,28	0,5	0,28
8	-	-	-	0,24	0,24	0,24	0,1	0,23

В табл. 2 приняты следующие обозначения символов: \bar{Y} – среднее значение функции отклика, S_y^2 – построчная дисперсия, \hat{Y} – значение функции отклика, рассчитанное по модели.

Оптимизация эксперимента осуществлена с применением градиентного метода Бокса–Уилсона – метода крутого восхождения [1]. Согласно уравнению (3) выбран базовый фактор – площадь насадки X_3 . Фактор X_2 стабилизирован на верхнем уровне. Для базового фактора X_3 шаг движения принят равным одной пластине насадки ($\lambda_a^* = 0,283 \text{ м}^2$), для фактора X_1 шаг движения определен по уравнению

$$\lambda_1^* = \frac{\lambda_1 b_1}{\lambda_a b_a} \cdot \lambda_a^* = \frac{0,025 \cdot 0,5}{0,05} \cdot 0,283 = 0,071, \quad (4)$$

где λ_a, λ_1 – уровни варьирования соответственно для базового фактора X_3 и фактора X_1 ; b_a, b_1 – численные значения коэффициентов регрессии при факторах X_3, X_1 .

Результаты оптимизации процесса приведены в табл.3.

Т а б л и ц а 3

Условия и результаты проведения дополнительных опытов

Номер опыта	Факторы			Коэффициент эффективности
	X_1	X_2	X_3	
1	2,0	+	2,27 м ²	0,51
2	2,071	+	2,55 м ²	0,62
3	2,14	+	2,84 м ²	0,64

Оптимизация активного эксперимента позволила повысить коэффициент эффективности процесса до значения 0,64, что соответствует работе современных контактных аппаратов при увлажнении воздуха.

Графическая зависимость поверхности массообмена от занимаемого насадкой объема представлена на рис. 3.

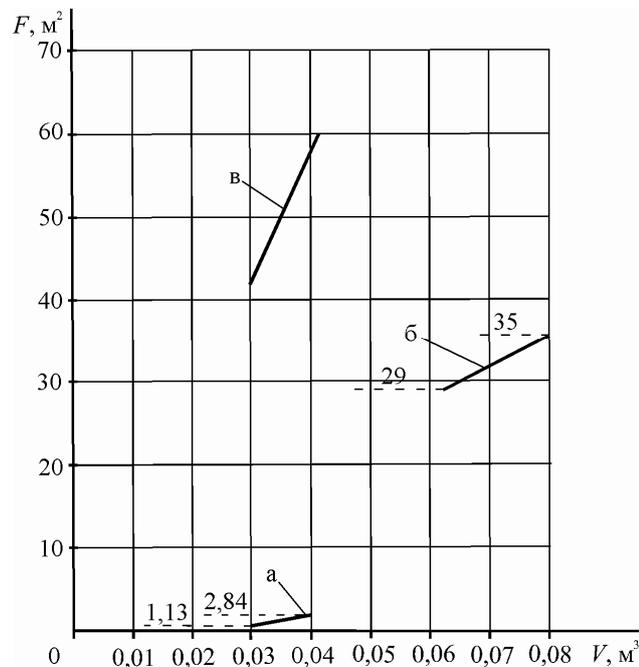


Рис.3. Зависимость поверхности контакта насадки от ее объема:
а – листовая насадка; б – насадка CeLPad; в – насадка из колец Рашига (15x15x1) мм

Учитывая габаритные размеры и технические характеристики материала насадки для контактных узлов камер орошения фирмы «Веза» (см. рис. 1,а), сравним ее коэффициент эффективности с экспериментальными данными, полученными для листовой насадки с вибровозбудителем (см. рис. 1,б).

При расходе воздуха до 2200 м³/ч и коэффициенте эффективности 0,65 фирменные контактные узлы комплектуются насадкой с габаритными размерами 150x600x700 мм (0,063 м³) [1, 4]. Площадь поверхности контакта, т.е. массообмена между воздухом и водой, составляет: $F = 460 \cdot 0,063 \approx 29 \text{ м}^2$.

Листовая насадка с вибровозбудителем позволила достичь аналогичной величины коэффициента эффективности (0,64) при $F = 2,84 \text{ м}^2$ (см. табл. 3) и расходе воздуха 1070 м³/ч, т.е. при уменьшении поверхности в $1070 \cdot 29 / 2200 \cdot 2,84 \approx 5$ раз.

Таким образом, экспериментальные исследования тепловлажностной обработки воздуха в контактном аппарате с вибронасадкой, проведенные в режиме адиабатического увлажнения, позволили оценить влияние режимных и конструктивных параметров на коэффициент эффективности процесса. Выявлено, что площадь листовой насадки в режиме механической вибрации может быть кратно уменьшена по сравнению с площадью импортной насадки типа CeLPad.

Список литературы

1. Аверкин, А.Г. Совершенствование устройств тепловлажностной обработки воздуха и методов расчета климатотехники: монография / А.Г.Аверкин, А.И. Еремкин. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 204 с.
2. Пат. 2581982 Российская Федерация. Устройство для тепловлажностной обработки воздуха / А.Г. Аверкин, А.И. Еремкин, Ю.А. Аверкин, Э.М. Иванов, С.О. Киселев, С.В. Семков; Пензен. гос. ун-т архитектуры и стр-ва; заявл. 24.04.14; опубл. 20.04.2016, Бюл. № 11.
3. Аверкин, А.Г. Повышение эффективности работы контактного аппарата для тепловлажностной обработки воздуха / А.Г.Аверкин, А.И. Еремкин, С.О. Киселев // Приволжский научный журнал. – 2017. – Вып. 2 (4). – С. 73–79.
4. <http://lavent.ru>

References

1. Averkin, A.G. Improvement of devices of heat and humidity treatment of air and methods of calculating HVAC: monograph / A.G. Averkin, A.I. Eremkin. – Penza: PGUAS, 2015. – 204 p.
2. Patent RF 2581982. Device for heat and moisture treatment of air / Averkin A. G., Eremkin A.I., Averkin Y. A., Ivanov E. M., Kiselev S. O., Semkov S.V. applicant and patent holder, Penzen. gos. un-t arkhit. i stroit.- appl. 24.04.14; publ.20.04.2016, Bul. № 11.
3. Averkin, A.G. Increase in the efficiency of the contact apparatus for heat and moisture treatment of air / A.G.Averkin, A.I. Eremkin, S.O. Kiselev // Privolzhsky scientific journal. – 2017. – Issue. 2 (4). – P. 73–79.
4. <http://lavent.ru>

УДК 628.3

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

*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,
старший 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

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПЕРЕХОДА РЕЖИМА ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРУБЧАТОМ СМЕСИТЕЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ В ОБЛАСТЬ РАЗВИТОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

С.Ю. Андреев, М.И. Яхкин, И.А. Гарькина

Приведены результаты теоретических исследований гидродинамических закономерностей перехода режима течения жидкости в трубчатых гидродинамических смешительных устройствах в область развитой турбулентности (квадратичного закона сопротивления шероховатых русел). Показано, что величина критерия Рейнольдса Re_{KT} в критических точках потока, характеризующих этот переход, пропорциональна значению коэффициента гидравлического трения λ_{KT} в степени -0,5 и величине относительной шероховатости русла потока $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}$ в степени -1. Поскольку величина коэффициента гидравлического трения λ в режиме развитой турбулентности является постоянной ($\lambda = \lambda_{KT} = \text{const}$), то значение λ_{KT} может быть определено по формуле Прандтля. Получены математические зависимости, описывающие гидравлические характеристики вязкого пристеночного подслоя турбулентного потока жидкости. Использование предложенной методики расчета позволит оптимизировать процессы проектирования и эксплуатации трубчатых смешительных устройств, работающих в режиме развитого турбулентного движения жидкости.

Ключевые слова: критерий Рейнольдса, динамическая скорость, диссипация энергии, турбулентное перемешивание, вязкий пристеночный подслой, переходный подслой, ядро потока

HYDRODYNAMIC REGULARITIES OF TRANSITION OF LIQUID FLOW MODE IN TUBULAR MIXING DEVICE TO AREA OF DEVELOPED TURBULENCE

S.Yu. Andreev, M.I. Yakhkind, I.A. Garkina

The results of theoretical researches of hydrodynamic regularities of transition of the liquid flow mode in the tubular hydrodynamic mixing devices to area of developed turbulence (the square law of resistance of rough channels) are presented. It is shown that the value of Reynolds number Re_{KT} in the critical points of the flow characterizing this transition is proportional to the value of hydraulic friction coefficient λ_{KT} to the -0.5 power and the value of relative roughness of flow channel $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}$

to the -1 power. As the value of hydraulic friction coefficient λ in the developed turbulence mode is constant ($\lambda = \lambda_{KT} = \text{const}$), the value λ_{KT} can be determined under Prandtl's formula. The mathematical dependences describing hydraulic characteristics of the viscous wall sublayer of the turbulent liquid flow are obtained. Use of the proposed calculation method allows to optimize processes of designing and operation of the tubular mixing devices working in the mode of developed turbulent liquid flow.

Keywords: Reynolds number, dynamic speed, energy dissipation, turbulent mixing, viscous wall sublayer, transition sublayer, flow core

В настоящее время для эффективного перемешивания обрабатываемой жидкости с реагентами в технологических процессах очистки природных и сточных вод широкое распространение получили трубчатые гидродинамические смесительные устройства. Эффективность работы трубчатого смесителя определяется интенсивностью процесса перемешивания и необходимыми удельными энергозатратами, величина которых существенно зависит от гидродинамического режима движения жидкости. Наибольшие удельные энергетические затраты на процесс перемешивания и максимальная турбулентность потока жидкости [1] наблюдаются при развитом турбулентном режиме движения потока в области квадратичного закона сопротивления шероховатых русел.

Впервые существование турбулентного режима движения жидкости было экспериментально доказано в 1883 г. английским физиком Осборном Рейнольдсом [2]. Даже простейшее воспроизведение опытов, поставленных более ста лет назад, обнаруживает сложности турбулентного режима движения жидкости. Именно это обстоятельство объясняет то, что до настоящего времени нет строгого решения проблем, связанных с описанием турбулентного режима движения жидкости, хотя актуальность рассматриваемых вопросов трудно переоценить. Еще Леонардо да Винчи полагал, что изучение движения небесных тел, находящихся на огромных расстояниях от Земли, значительно проще, чем изучение движения ручейка, который протекает у наших ног [3]. Французский ученый Жозеф Буссинеск неоднократно высказывался о том, что трудности изучения турбулентности вызывают у него отчаяние [3]. А американский инженер-гидравлик Теодор фон Кармин однажды признался, что, когда он, наконец, предстанет перед Создателем, первым его откровением будет просьба раскрыть ему тайну турбулентности [3].

При турбулентном режиме движения жидкости скорости в любой точке потока непрерывно изменяются по величине и направлению. Это явление называется пульсацией местной скорости потока. Скорость движения жидкости в данный момент времени в данной точке турбулентного потока u (м/с) называется местной мгновенной скоростью. Было отмечено, что величина местной скорости беспорядочно колеблется около некоторого осредненного по времени значения, которое остается постоянным. Это обстоятельство позволило при рассмотрении турбулентных потоков использовать понятие осредненной местной скорости \bar{u} . Осредненной местной скоростью называется средняя скорость движения жидкости в данной точке, определяемая за достаточно продолжительный промежуток времени. Таким образом, величина местной мгновенной скорости турбулентного потока может быть определена как

$$u = \bar{u} \pm u', \text{ м/с}, \quad (1)$$

где u' – пульсационная скорость турбулентного потока (м/с).

Понятия мгновенной, осредненной и пульсационной скоростей обычно рассматриваются применительно к их проекциям на соответствующие оси. К настоящему времени на базе выдвинутых гипотез о турбулентном потоке жидкости были разработаны практические рекомендации, позволяющие удовлетворительно решать многие инженерные задачи.

Одной из таких гипотез является предположение о том, что непосредственно в пристеночном слое турбулентного потока существует узкий слой жидкости толщиной δ_* , в пределах которого выполняется условие $Re_{\delta_*} \leq 1$, и определяющую роль играет вязкость жидкости¹. Этот пристеночный слой принято называть вязким подслоем [4, 5].

Другой гипотезой является предположение о том, что вязкий подслой граничит с переходным подслоем, имеющим толщину δ^{**} . В переходном подслое выполняется условие $Re_{\delta^{**}} > 1$. Более высокие значения местных мгновенных скоростей в переходном подслое обуславливают периодическое зарождение турбулентных вихрей, поскольку вязкостные напряжения в нем сопоставимы по значению с импульсами, вызывающими турбулентность [4, 5]. Турбулентные вихри отрываются и уносятся течением, турбулизируя поток в его центральной части – турбулентном ядре, что обеспечивает поддержание устойчивого турбулентного режима.

Вязкий и переходный подслои вместе образуют вязкий слой – область, где вязкость жидкости играет определяющую роль в характере ее движения [5].

Возникновение турбулентного режима весьма существенно увеличивает гидравлическое сопротивление потоку жидкости.

В соответствии с формулой Дарси–Вейсбаха величина гидравлического уклона i , в зависимости от значения коэффициента гидравлического трения (коэффициента Дарси) λ , диаметра трубы d (м) и средней скорости потока жидкости v (м/с), может быть определена как

$$i = \frac{\lambda v^2}{d 2g}. \quad (2)$$

При ламинарном режиме движения жидкости величина коэффициента гидравлического трения λ не зависит от величины относительной шероховатости русла потока $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}$, определяемой как отношение величины эквивалентной шероховатости Δ (м)

(средней высоты выступов русла потока) к диаметру трубы d (м), а определяется только значением критерия Рейнольдса $\left(Re = \frac{vd}{\nu} \right)$

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (3)$$

В области развитой турбулентности, описываемой квадратичным законом сопротивления шероховатых русел, также называемой областью автомодельного режима течения жидкости (поскольку $\lambda_{KB} = \text{const}$), величина коэффициента гидравлического трения λ_{KB} зависит только от значения величины относительной шероховатости $\bar{\Delta}$ и не зависит от числа Re . В этой области величину коэффициента гидравлического трения принято определять по формуле Л. Прандтля

$$\lambda_{KB} = \frac{0,25}{\left(\lg 3,7 \frac{d}{\Delta} \right)^2}, \quad (4)$$

¹ Символ * у любых характеристик в данной статье обозначает, что эта характеристика принадлежит к вязкому подслою потока жидкости.

либо по формуле Б.Л. Шифринсона

$$\lambda_{KB} = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}. \quad (5)$$

В переходной зоне на значение величины коэффициента гидравлического трения λ влияет как число Re, так и величина относительной шероховатости $\bar{\Delta}$.

В соответствии с методом, разработанным О. Рейнольдсом [6], было предложено считать, что увеличение гидравлического сопротивления в турбулентном потоке жидкости обусловлено обменом масс жидкости в поперечном направлении потока, который приводит к передаче количества движения (импульса силы трения), направленного против движения потока. При этом в двух элементарных слоях жидкости турбулентного потока, движущегося относительно друг друга со скоростью u'_x (м/с), будет происходить перемещение массы жидкости Δm (кг) в поперечном направлении через некоторую элементарную площадку $\Delta \omega$ (м²) за период времени Δt (с) со скоростью u'_y (м/с).

Тогда

$$\Delta m = \rho \Delta W = \rho \Delta \omega \Delta l = \rho \Delta \omega u'_y \Delta t. \quad (6)$$

При перемещении массы жидкости из слоя в слой будет передан импульс силы трения $F_T \Delta t$ (Н·с) (количество движения $\Delta m u'_x$, (кг·м)/с), в результате чего движение слоя, перемещающегося с большей скоростью, затормозится. Торможение движения слоя вызвано действием касательного напряжения силы турбулентного трения τ'_{yx} (Н/м²), величина которого может быть определена как удельный поток импульса силы трения:

$$\tau'_{yx} = -\frac{F_T \Delta t}{\Delta t \Delta \omega} = -\frac{\Delta m u'_x}{\Delta t \Delta \omega} = -\frac{\rho \Delta \omega u'_y \Delta t u'_x}{\Delta t \Delta \omega} = -\rho u'_x u'_y. \quad (7)$$

Выражение (7) определяет мгновенное динамическое касательное напряжение в данной точке, вызванное перемешиванием.

Осредненное значение напряжения турбулентного трения определяется в соответствии с уравнением, полученным О. Рейнольдсом [6]:

$$\tau_T = -\overline{\rho u'_x u'_y}, \text{ Н/м}^2, \quad (8)$$

где u'_x и u'_y – компоненты пульсационной скорости в декартовой системе координат (черта сверху означает осреднение соответствующих выражений по времени).

В турбулентном потоке касательное напряжение, обусловленное турбулентным перемешиванием τ_T , добавляется к касательному напряжению, обусловленному действием сил вязкого трения τ_B , в результате чего величина полного касательного напряжения в рассматриваемой точке потока определяется как

$$\tau_{II} = \tau_B + \tau_T = \mu \frac{du}{dy} - \overline{\rho u'_x u'_y} = \rho \nu \frac{du}{dy} - \overline{\rho u'_x u'_y}, \text{ Н/м}^2. \quad (9)$$

Буссинеск Ж. предложил выражать касательное турбулентное напряжение в точке потока $-\overline{\rho u'_x u'_y}$ через динамический μ_T или кинематический $\nu_T = \frac{\mu_T}{\rho}$ коэффициент турбулентной вязкости [7].

В настоящее время нет полной ясности в вопросе, является ли введенная функция μ_T векторной или тензорной.

Во многих работах (в частности, в [3]) отмечается, что коэффициент турбулентной вязкости (коэффициент Буссинеска) является виртуальной величиной, не имеет никакого отношения к физическим свойствам жидкости и представляет собой функцию координат, отображающую особенности турбулентного течения жидкости в данный момент времени.

Введение понятия коэффициента турбулентной вязкости позволяет привести турбулентные напряжения к виду

$$-\rho \overline{u'_x u'_y} = \mu_T \frac{d\bar{u}}{dy} = \rho \nu_T \frac{d\bar{u}}{dy}. \quad (10)$$

В этом случае полные касательные напряжения (физические и турбулентные) в точке турбулентного потока, удаленной на расстояние r (м) от оси потока, могут быть описаны единственной зависимостью

$$\tau_r = \tau_B + \tau_T = (\mu + \mu_T) \frac{du}{dy}, \text{ Н/м}^2. \quad (11)$$

Эта формула часто выражается в виде

$$\frac{\tau_r}{\rho} = (v + \nu_T) \frac{du}{dy}, \text{ Дж/кг; м}^2/\text{с}^2. \quad (12)$$

В пристеночной области турбулентного потока жидкости на расстоянии r_0 (м) в трубе круглого сечения величина полного касательного напряжения будет иметь значение

$$\tau_r = \tau_*, \text{ Н/м}^2. \quad (13)$$

Из (13) в соответствии с основным уравнением равномерного движения имеем

$$\frac{\tau_*}{\rho} = v_*^2 = iRg, \text{ м}^2/\text{с}^2, \quad (14)$$

где $v_* = \sqrt{\frac{\tau_*}{\rho}}$ – динамическая скорость (скорость касательного напряжения), величина

которой определяется по формуле $v_* = v \sqrt{\frac{\lambda}{8}}$; R – гидравлический радиус.

Градиент скорости G_* в пристеночной области будет иметь значение

$$G_* = \frac{\tau_*}{\rho(v + \nu_T)} = \frac{v_*^2}{v + \nu_T}, \text{ с}^{-1}. \quad (15)$$

Корректное описание гидравлических закономерностей турбулентного режима движения жидкости можно осуществить, учитывая в полной мере особенности ламинарного режима движения жидкости.

При слоистом упорядоченном ламинарном движении жидкости в трубе круглого сечения отдельные слои жидкости скользят относительно друг друга, не смешиваясь между собой, величина максимальной местной скорости на оси потока при этом имеет значение

$$u_{\max l} = 2v. \quad (16)$$

В пристеночной области ламинарного потока (так же, как и в турбулентном потоке) существует вязкий подслой толщиной δ_* , в котором силы вязкого трения превышают силы инерции, вследствие чего величины касательного напряжения и градиента скорости в пределах вязкого подслоя имеют постоянные значения ($G_* = \text{const}$, $\tau_* = \text{const}$). В вязком пристеночном подслое величина местной скорости потока u_r (м/с) в зависимости от расстояния от стенки y (м) меняется по линейному закону от нуля до значения v_* (м/с) при $y = \delta_*$

$$u_r = G_* y, \text{ м/с}. \quad (17)$$

Толщина вязкого пристеночного подслоя в ламинарном потоке может быть определена по формуле

$$\delta_* = R \sqrt{\frac{\lambda}{32}}, \text{ м}. \quad (18)$$

Величина градиента скорости в пристеночном подслое ламинарного потока может быть найдена по формуле

$$G_* = \frac{v_*^2}{\nu}. \quad (19)$$

Возникновение турбулентности в потоке жидкости, движущемся в трубе круглого сечения, приводит к повышению гидравлического сопротивления (величины гидравлического трения λ) и уменьшению величины местной осредненной скорости на оси потока $\bar{u}_{\max T}$, что, как мы предполагаем, может быть учтено введением в формулы (3) и (16) поправочных коэффициентов α и β :

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \alpha, \quad (20)$$

$$\bar{u}_{\max T} = 2v\beta, \text{ м/с.} \quad (21)$$

Преобразовав формулу (20), получим:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \alpha = 64 \frac{\alpha v}{v d} = 16 \frac{\alpha v}{v R}, \quad (22)$$

откуда

$$\alpha = \frac{\lambda}{16} \frac{v R}{v}. \quad (23)$$

Кроме того, мы предполагаем, что можно использовать формулу (19) для определения величины градиента скорости в пристеночном подслое турбулентного потока жидкости, если подставить в нее коэффициент кинематической вязкости в этой области $\nu_* = \alpha\nu$, а также выражение для динамической скорости $v_* = v\sqrt{\frac{\lambda}{8}}$. В таком случае получим:

$$G_* = \frac{v_*^2}{\nu_*} = \frac{v_*^2}{\alpha\nu} = \frac{\lambda v^2}{8\alpha\nu}, \text{ с}^{-1}. \quad (24)$$

Подставив значение α из формулы (23), получим:

$$G_* = \frac{\lambda v^2}{8v} \frac{16v}{\lambda v R} = \frac{2v}{R}, \text{ с}^{-1}. \quad (25)$$

Сравнение формул (15) и (24) показывает, что

$$v_* = \alpha\nu = \nu + \nu_T, \quad (26)$$

откуда $\alpha = 1 + \frac{\nu_T}{\nu}$.

Введенный коэффициент α представляет собой множитель, который учитывает увеличение вязкости в пристеночной области потока жидкости, происходящее из-за появления турбулентной составляющей движения жидкости (турбулентной вязкости).

Таким образом, получаются замкнутые системы уравнений, описывающие гидравлические характеристики вязкого пристеночного подслоя турбулентного потока жидкости.

$$\begin{cases} v_* = v\sqrt{\frac{\lambda}{8}}, & \text{м/с,} \\ \delta_* = R\sqrt{\frac{\lambda}{32}} = \frac{v_*}{G_*}, & \text{м,} \\ G_* = \frac{v_*^2}{\alpha\nu} = \frac{2v}{R}, & \text{с}^{-1}, \\ \lambda = \frac{64}{\text{Re}} \alpha, \\ \alpha = \frac{\lambda}{16} \frac{v R}{v}. \end{cases} \quad (27)$$

Для турбулентного потока жидкости будут справедливы формулы, используемые для определения величины удельной массовой диссипации энергии ε_R , рассеиваемой на участке ламинарного потока, длина которого равна половине величины гидравлического радиуса $l = \frac{1}{2}R$ и величины удельной секундной диссипации энергии ε_T , рассеиваемой потоком жидкости за единицу времени:

$$\varepsilon_R = \frac{1}{2}v_*^2, \text{ м}^2/\text{с}^2, \quad (28)$$

$$\varepsilon_T = \frac{1}{2}v_*^2 G_*. \quad (29)$$

На рис. 1 представлены зависимости величины коэффициента гидравлического трения λ от значения числа Рейнольдса Re для труб круглого сечения, имеющих различную величину относительной шероховатости $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}$; данные зависимости получены экспериментальным путем Муриным Г.А.

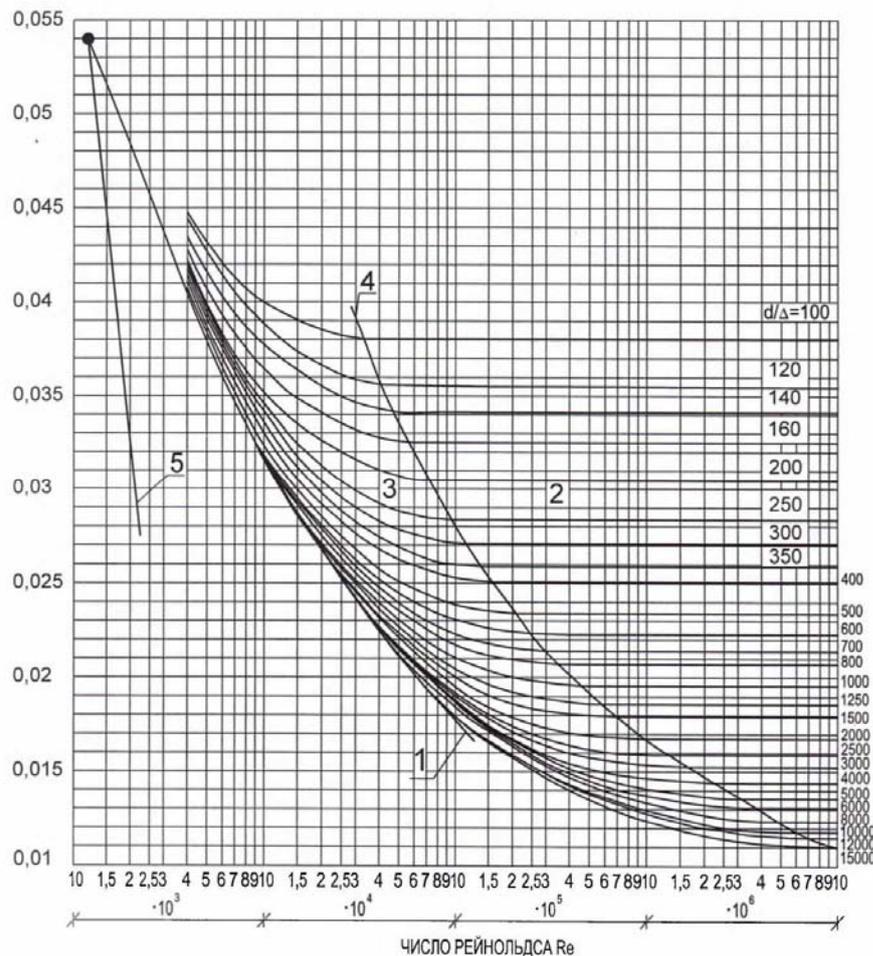


Рис. 1. Графики Г.А. Мурина:

- 1 – кривая гидравлически гладких труб, построенная по формуле Г. Блазиуса;
- 2 – область квадратичного закона гидравлического сопротивления; 3 – переходная область;
- 4 – кривая, разделяющая переходную область и область квадратичного закона;
- 5 – линия ламинарного режима

Поскольку при переходе режима течения жидкости в область квадратичного закона сопротивления величины коэффициента гидравлического трения λ в точке перехода будут зависеть от значения эквивалентной шероховатости русла потока Δ (м) и не будут зависеть от величины диаметра трубы d (м), то мы предполагаем, что в таких

случаях можно использовать число Рейнольдса, в котором в качестве линейного размера принята величина эквивалентной шероховатости Δ (м):

$$\text{Re}_{\Delta KT} = \frac{v_{KT} \Delta}{\nu}, \quad (30)$$

где v_{KT} – величина средней скорости в критической точке перехода турбулентного потока жидкости в область квадратичного закона сопротивления (м/с).

По аналогии с формулой (3), справедливой при ламинарном режиме движения жидкости, мы предполагаем, что с использованием этого числа Рейнольдса величина коэффициента гидравлического трения λ_{KT} в критической точке перехода потока жидкости в область квадратичного закона сопротивления может быть определена по квадратичной формуле

$$\lambda_{KT} = \left(\frac{64}{\text{Re}_{\Delta KT}} \right)^2 = \left(\frac{64}{\text{Re}_{KT}} \frac{d}{\Delta} \right)^2, \quad (31)$$

откуда

$$\text{Re}_{KT} = \frac{64}{\sqrt{\lambda_{KT}}} \frac{d}{\Delta}. \quad (32)$$

При этом с учетом формулы (20) будет верно выражение

$$\lambda_{KT} = \left(\frac{64}{\text{Re}_{\Delta KT}} \right)^2 = \left(\frac{64}{\text{Re}_{KT}} \frac{d}{\Delta} \right)^2 = \frac{64}{\text{Re}_{KT}} \alpha_{KT}. \quad (33)$$

Кривая 4 на рис. 1, характеризующая местоположение точек перехода режима движения жидкости в область квадратичного закона сопротивления шероховатых русел (критических точек турбулентного режима), была построена по формуле (31).

Кроме того, величина коэффициента гидравлического трения в режиме развитой турбулентности (квадратичного закона сопротивления) является константой ($\lambda = \lambda_{KT} = \text{const}$) и может быть определена по формуле Л. Прандтля (4). Подставив выражение (4) в формулу (32), получим:

$$\text{Re}_{KT} = \frac{64}{\sqrt{0,25}} \frac{d}{\Delta} \ln \left(3,7 \frac{d}{\Delta} \right) = 128 \frac{d}{\Delta} \ln \left(3,7 \frac{d}{\Delta} \right) \quad (34)$$

Для критических точек турбулентного режима И. Никурадзе была предложена математическая зависимость [8]

$$\Delta = \frac{2N\nu}{v_{*KT}}, \quad (35)$$

где v_{*KT} – величина динамической скорости в критической точке турбулентного режима (м/с); N – число Никурадзе.

По экспериментальным данным, $N=10,7-11,5$.

С учетом выражения для динамической скорости $v_* = v \sqrt{\frac{\lambda}{8}}$ формула (35) может быть представлена в виде

$$v_{*KT} = \frac{2N\nu}{\Delta} = v_{KT} \sqrt{\frac{\lambda_{KT}}{8}}, \quad (36)$$

откуда

$$\lambda_{KT} = 8 \left(\frac{2N\nu}{\Delta \cdot v_{KT}} \right)^2. \quad (37)$$

С учетом формул (30) и (31) получим:

$$\lambda_{KT} = 32 \left(\frac{N}{\text{Re}_{\Delta KT}} \right)^2 = \left(\frac{64}{\text{Re}_{\Delta KT}} \right)^2, \quad (38)$$

откуда $N = \frac{64}{\sqrt{32}} = 11,3137$.

Никурадзе было сделано предположение, что в рассматриваемых критических точках турбулентного потока жидкости толщина вязкого подслоя δ_{*KT} в два раза меньше величины эквивалентной шероховатости Δ (рис. 2) и выполняется условие

$$\delta_* = \frac{1}{2} \Delta = \frac{N\nu}{v_{*KT}}, \text{ м.} \quad (39)$$

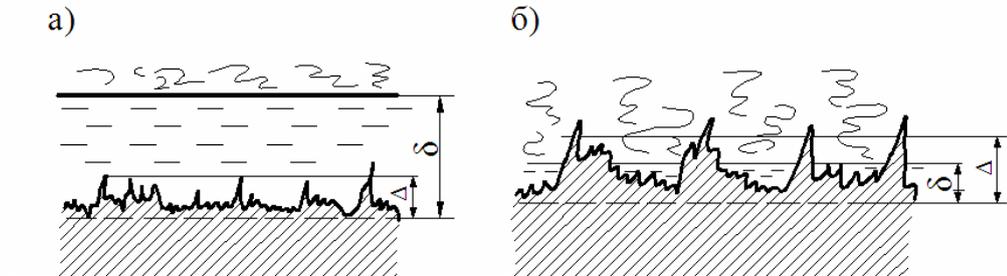


Рис.2. Схема вязкого пристеночного подслоя в гидравлически гладких (а)

и шероховатых трубах (б) при $v=v_{KT}$ (м/с) и $\delta_* = \frac{1}{2} \Delta$ по представлениям И. Никурадзе

Градиент скорости в пристеночном вязком подслое может быть определен как по формуле (17) при $y=\delta_*$, так и по формуле (24), откуда имеем

$$G_* = \frac{u_*}{\delta_*} = \frac{v_*^2}{\nu_*}, \text{ с}^{-1}, \quad (40)$$

где u_* – местная скорость (м/с) на границе вязкого подслоя на расстоянии от стенки $y=\delta_*$ (м).

Из формулы (40) следует, что

$$\delta_* = \frac{u_* \nu_*}{v_*^2} = \frac{u_*}{v_*} \cdot \frac{\nu_*}{v_*}. \quad (41)$$

При анализе формулы (41) может быть принято одно из двух следующих допущений.

1-е допущение базируется на представлениях И. Никурадзе, в соответствии с которыми величина коэффициента кинематической вязкости в пристеночном подслое ν_* равна величине коэффициента кинематической вязкости жидкости в ядре потока ν . Скорость на границе вязкого подслоя на расстоянии $y=\delta_*$ от стенки трубы u_* не равна величине динамической скорости ($u_* \neq v_*$). Отношение величины местной скорости на границе пристеночного подслоя u_* к величине динамической скорости v_* является числом Никурадзе ($\frac{u_*}{v_*} = N$), при этом толщина пристеночного подслоя δ_* равна

половине величины эквивалентной шероховатости ($\delta_* = \frac{1}{2} \Delta$) и может быть определена по формуле (41), которая в данном случае примет вид формулы (39).

Формула (39) в соответствии с представлениями И. Никурадзе справедлива лишь в критических точках перехода потока в область квадратичного закона сопротивления. Здесь следует отметить, что попытки некоторых исследователей использовать эту формулу при других режимах турбулентного движения жидкости являются некорректными.

2-е допущение предполагает, что величина скорости на границе вязкого подслоя u^* равна величине динамической скорости v^* ($u^*=v^*$; $\frac{u^*}{v^*}=1$). Величина коэффициента

кинематической вязкости в пристеночном подслое v^* в α раз превышает величину коэффициента кинематической вязкости жидкости в ядре потока v ($v^*=\alpha v$). В этом случае формула (41) примет вид

$$\delta_* = \frac{v^*}{v^*} = \frac{\alpha v}{v^*} = \frac{v + v_T}{v^*}. \quad (42)$$

Из формулы (33), подставляя в нее выражение (32), величину коэффициента α_{KT} определяем как

$$\alpha_{KT} = \frac{\lambda_{KT} \text{Re}_{KT}}{64} = \frac{\lambda_{KT}}{64} \frac{64}{\sqrt{\lambda_{KT}}} \frac{d}{\Delta} = \frac{d}{\Delta} \sqrt{\lambda_{KT}}. \quad (43)$$

Из формулы (43) с учетом значения R из формулы (18) имеем

$$\alpha_{KT} = \frac{d}{\Delta} \sqrt{\lambda_{KT}} = \frac{4R}{\Delta} \sqrt{\lambda_{KT}} = \frac{4\delta_*}{\Delta} \frac{\sqrt{32}}{\sqrt{\lambda_{KT}}} \sqrt{\lambda_{KT}} = 4\sqrt{32} \frac{\delta_*}{\Delta}, \quad (44)$$

откуда при $\delta_* = \frac{1}{2}\Delta$ получим, что $\alpha_{KT} = 4\sqrt{32} \frac{1}{2} = 11,3137$.

Сопоставляя значение числа Никурадзе N , полученное из формулы (38), с этой величиной α_{KT} , можно сделать вывод о том, что число Никурадзе N показывает, во сколько раз увеличивается значение кинематического коэффициента вязкости $v^*=\alpha v$ в критической точке турбулентного режима в некотором гипотетическом вязком пристеночном подслое, имеющем толщину $\delta_* = \frac{1}{2}\Delta$.

Следует отметить, что в реальности в этом случае толщина вязкого подслоя будет равна величине, определяемой по формуле (18), величину коэффициента α_{KT} при этом можно найти из формулы (43), подставив в нее значение λ_{KT} из формулы (4):

$$\alpha_{KT} = \frac{d}{\Delta} \sqrt{\frac{0,25}{\left(\lg 3,7 \frac{d}{\Delta}\right)^2}} = \frac{d}{\Delta} \frac{0,5}{\lg 3,7 \frac{d}{\Delta}}. \quad (45)$$

Разработанная методика расчета гидродинамических характеристик трубчатого смесительного устройства, работающего в области перехода в турбулентный автомодельный режим течения жидкости, позволит оптимизировать процесс реагентной очистки природных и сточных вод, что приведет к повышению их эффективности.

Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Оценка гидравлических характеристик трубчатого смесительного устройства, работающего в ламинарном режиме / С.Ю. Андреев, М.И. Яхкин, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – №1. – С. 148–156.
2. Reynolds, O. An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels / O. Reynolds // Phil. Trans. R. Soc. Lond. – 1883. – №174. – P. 935–982.
3. Высоцкий, Л.И. Учет отрицательной турбулентной вязкости в пристеночном слое / Л.И. Высоцкий // Труды Саратовского научного центра жилищно-коммунальной академии РФ. – Саратов: Саратовский научный центр ЖКА, 1998. Вып. 1. – С.4.
4. Prandtl, L. Neuere Ergebnisse der Turbulenzforschung / L. Prandtl // Z. VDI. – 1933. – №77. – P. 105–114.
5. Константинов, Н.М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия / Н.М. Константинов, Н.А. Петров, Л.И. Высоцкий. – М.: Высшая школа, 1987. – 304 с.

6. Reynolds, O. On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion / O. Reynolds // *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.* – 1895. – №186. – P. 123–164.

7. Boussinesq, M.J. Théorie de l'écoulement tourbillonnant et tumultueux des liquides dans les lits rectilignes à grande section / M.J. Boussinesq. – Paris, Gauthier-Villars et Fils, 1897. – 64 p.

8. Nikuradse, J. Gesetzmäßigkeiten der turbulenten Strömung in glatten Röhren / J. Nikuradse // *VDI-Forschungsheft.* – 1932. – №356. – P. 1–36.

References

1. Andreev, S.Yu. Assessment of hydraulic characteristics of the tubular hydrodynamic device working in the laminar mode / S.Yu. Andreev, M.I. Yakhkind, I.A. Garkina // *Regional architecture and engineering.* – 2018. – No.1. – P 148–156.

2. Reynolds, O. An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels / O. Reynolds // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* – 1883. – №174. – P. 935–982.

3. Vysotskiy, L.I. Consideration of negative turbulent viscosity in the wall sublayer / L.I. Vysotskiy // *Proceedings of the Saratov scientific center of housing and communal Academy of the Russian Federation.* – Saratov: Saratov scientific center of housing and communal Academy, 1998. Iss. 1. – P.4.

4. Prandtl, L. Neuere Ergebnisse der Turbulenzforschung / L. Prandtl // *Z. VDI.* – 1933. – №77. – P. 105–114.

5. Konstantinov, N.M. Hydraulics, hydrology, hydrometry / N.M. Konstantinov, N.A. Petrov, L.I. Vysotskiy. – M.: Vysshaya shkola, 1987. – 304 p.

6. Reynolds, O. On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion / O. Reynolds // *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.* – 1895. – №186. – P. 123-164.

7. Boussinesq, M.J. Théorie de l'écoulement tourbillonnant et tumultueux des liquides dans les lits rectilignes à grande section / M.J. Boussinesq. – Paris, Gauthier-Villars et Fils, 1897. – 64 p.

8. Nikuradse, J. Gesetzmäßigkeiten der turbulenten Strömung in glatten Röhren / J. Nikuradse // *VDI-Forschungsheft.* – 1932. – №356. – P. 1–36.

УДК 54.544.77

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Вилкова Наталья Георгиевна,
доктор химических наук, профессор
кафедры «Физика и химия»
E-mail: ngvilkova@mail.ru

Пензенский государственный университет

Россия, 440026, Пенза, ул.Красная, 40,
тел. 8(8412)54-83-62

Мишина Светлана Ивановна,
кандидат химических наук,
доцент кафедры «Химия и теория
и методика обучения химии»
E-mail: elancv@mail.ru

Шатина Елена,
студентка
E-mail: len.schatina2013@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

Vilkova Nataliya Georgievna,
Doctor of Chemical Sciences, Professor of the
department «Physics and chemistry »
E-mail: ngvilkova@mail.ru

Penza State University

Russia, 440026, Penza, 40, Krasnaya St.,
tel. 8(8412) 54-83-62

Mishina Svetlana Ivanovna,
Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor of the department
«Chemistry and theory and methodology
of chemistry teaching»
E-mail: elancv@mail.ru

Shatina Elena,
Student
E-mail: len.schatina2013@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕН, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В СТОЧНЫХ ВОДАХ

Н.Г. Вилкова, С.И. Мишина, Е.А. Шатина

Исследована устойчивость пен, стабилизированных модифицированными частицами кремнезема и формирующихся в сточных водах в присутствии дизельного топлива. Показано влияние степени гидрофобизации твердых частиц и их размеров на процесс пенообразования и устойчивость образующихся дисперсных систем.

Ключевые слова: пены, гидрофобизованные частицы, дизельное топливо, устойчивость

INFLUENCE OF DIESEL FUEL ON THE STABILITY OF FOAM FORMED IN SEWAGE WATERS

N.G. Vilkova, S.I. Mishina, E.A. Shatina

The influence of dissolved diesel fuel on the stability of foams stabilized by modified silica particles is studied. The effect of the degree of hydrophobization of solid particles and their size on the foaming process and the stability of the formed dispersed systems is shown.

Keywords: foams, hydrophobized particles, diesel fuel, stability

Исследование устойчивости пен, которые образуются в сточных водах в присутствии различных углеводов, представляет значительный практический интерес для эффективного выделения нефти, а также для проектирования аппаратов процессов флотации и ускоренного пеногашения. В работе [1] было оценено влияние различных поверхностно-активных веществ и углеводов с четко определенными свойствами на стабильность пены. Были проведены эксперименты на объемных пенах и изолированных пузырьках для различных поверхностно-активных веществ в отсутствие и в присутствии изопарафинов, различающихся длиной углеводородных цепей, а также плотностью и вязкостью. Результаты показали значительное влияние типа поверхностно-активного вещества, а также вязкости и плотности масла на стабильность

пены. В работе [2] отмечено, что существует различие в пеногасящей способности при контактном взаимодействии пены с органическими жидкостями и при добавлении их в водный раствор. В первом случае (гетерогенное пеногашение) может происходить полная потеря поверхностной активности пенообразователя на границе раздела вода – органическая жидкость. При добавлении таких растворителей в воду ввиду их малой поверхностной активности устойчивость пены может не изменяться.

Известно, что легкие углеводороды разрушают или предотвращают образование пены [3-5]. В работах [6-8] показано, что стабильные пены могут быть получены в присутствии углеводородов, если выбран подходящий пенообразователь. Результаты, представленные в работе [9], подтвердили, что легкие углеводороды радикально уменьшают долговечность пен, а углеводороды с более длинной цепью повышают их устойчивость. Показано также, что пены неустойчивы, если капельки масла (в случае, если масло присутствует в виде эмульгированного масла) способны “вторгаться” на границу раздела жидкость – газ. Кроме того, эмульгированное масло [10] может повысить долговечность пены, если псевдоэмульсионная пленка стабильна. Авторы [11, 12] провели испытание гидрофобных частиц на стабильность пены. Противоположное действие только маслом является гораздо менее эффективным, чем смесью масла и гидрофобных частиц. Обсуждается влияние вязкости масла, присутствия твердых частиц в масле и процесса деактивации пеногасителя на величину и активность пеногасителя. В работе [2] показано также, что в теории прорыва пенной пленки гидрофобными частицами неясным остается вопрос о влиянии размера частиц на эффективность разрушения пены. Обнаружено сильное стабилизирующее действие на процесс пенообразования мелких гидрофобных частиц радиусом 20-1000 нм. Известно, что гидрофобизованные частицы кремнезема являются хорошими стабилизаторами пен [13-18]. Однако устойчивость таких пен в присутствии органической жидкости, растворенной в дисперсионной среде, не изучалась.

Целью проведенных исследований являлось изучение устойчивости пен, стабилизированных гидрофобизованными частицами кремнезема и формирующихся в сточных водах в присутствии дизельного топлива (ДТ).

Материалы и методы исследования

Для стабилизации пен использовали два вида коллоидного кремнезема: а) аэросил-380 – порошок с диаметром частиц 12 нм; б) 41 % (в пересчете на SiO_2) золь марки Ludox-NS с диаметром частиц 15 нм. Частицы аэросила агрегированы в исходном (порошкообразном) состоянии. Средний размер агрегированных частиц был равен 3–30 мкм. Для гидрофобизации поверхности частиц кремнезема использовали гексиламин – $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{NH}_2$ – катионный ПАВ, хорошо растворимый в воде. Молярная масса 101 г/моль. Плотность – 0,766 г/см³.

Определение краевого угла смачивания частиц кремнезема

Метод описан в монографии [17]. С помощью шприца пузырек помещается на твердую стеклянную пластинку. Увеличенное микроскопом изображение с помощью веб-камеры переносится на компьютер. Полученные фотографии обрабатывают и рассчитывают величину краевого угла.

Приготовление воды, насыщенной дизельным топливом

Воду, насыщенную дизельным топливом, готовили следующим образом: к 50 мл дистиллированной воды добавляли 50 мл дизельного топлива, перемешивали в течение 3-5 минут и оставляли в делительной воронке на 24 часа при температуре 25⁰ С. Через сутки воду отделяли. Содержание ДТ в воде, определенное флуориметрическим методом, было равно 600 мг/л.

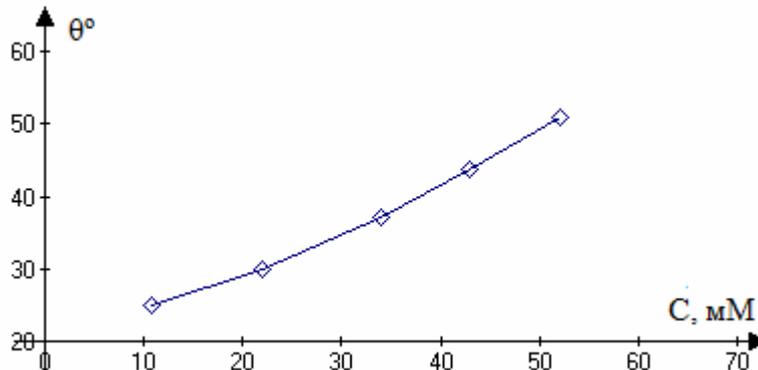
Приготовление пены

Определенный объем гексилamina (от 0,03 до 0,08 мл) добавляли к 10 мл 20 % раствора людокс или 2 % аэросила. Отбирали 2-3 мл суспензии и добавляли в пробирку с 8 мл воды, насыщенной дизельным топливом, суспензию интенсивно

встряхивали в течение 2-3 минут. Устойчивость пены определяли в гравитационном поле по изменению высоты пенного слоя со временем.

Результаты и их обсуждение

Как отмечалось ранее, увеличение концентрации гексилamina изменяет краевой угол смачивания твердых частиц кремнезема. На рисунке показан один из примеров изменения краевого угла смачивания частиц людокс при увеличении концентрации гидрофобизатора. Особенностью полученной зависимости является достижение некоторого максимального краевого угла смачивания частицы (55 градусов). Подобное достижение максимальных значений краевых углов характерно для всех изученных суспензий людокс и аэросила при изменении концентраций твердой фазы от 0,5 до 2 %.



Зависимость краевых углов от концентрации гексилamina в суспензиях 2 % Ludox

Ранее было показано также, что суспензии кремнезёма без добавок гексилamina не обладают пенообразующей способностью. Раствор гексилamina без твердых частиц также образует неустойчивые пены, разрушающиеся в течение нескольких секунд. В табл. 1 представлены результаты исследования пен, стабилизированных золем людокс, в гравитационном поле.

Т а б л и ц а 1

Разрушение пен, стабилизированных золем людокс, в гравитационном поле

С _{людокс} , %	С _{гексиламин} , мМ	Разрушение пен, %				
		2 ч	4ч	2 суток	5 суток	4 месяца
20	21,4	95	100	–	–	–
	63,8	29	29	31	31	30
	95,3	13	13	12	12	12
	127,6	0	0	0	0	1

Как видно из табл. 1, устойчивость пен повышается при увеличении концентрации гидрофобизатора. Пены, полученные из суспензий с содержанием твердой фазы 20 % и содержанием гексилamina выше 120 мМ, сохраняли устойчивость в течение 5 суток (табл. 1) в отсутствие каких-либо внешних воздействий. В таких пенах наблюдали замедление скорости синерезиса, что обусловлено, вероятно, изменением вязкости дисперсионной среды. При увеличении концентрации гидрофобизатора выше 160 мМ происходило образование густого геля при диспергировании системы.

Пены с содержанием аэросила 2 % при изменении концентрации гексилamina от 18 до 55 мМ живут более 2 месяцев при условии отсутствия каких-либо внешних воздействий. Дальнейшее увеличение концентрации гексилamina в 2 % суспензиях кремнезема приводит к снижению устойчивости пены вследствие роста радиуса агрегатов выше 100 мкм. При увеличении концентрации гексилamina до 60 мМ время жизни пен снижается до 2 суток. При концентрации гексилamina 95 мМ происходит мгновенное разрушение пены. В табл. 2 показана максимальная высота слоя пены, которая обра-

зуется в водной среде, содержащей дизельное топливо, в присутствии гидрофобизованного кремнезема, а также представлено изменение ее устойчивости при повышении степени гидрофобизации кремнезема.

Т а б л и ц а 2

Устойчивость пен, стабилизированных гидрофобизованным кремнеземом,
в присутствии дизельного топлива
(Соотношение объемов суспензии кремнезема (v_1): вода (v_2) было равно 2/8; 3/8; 3/8;
4,5/3,5 в опытах №1, 2, 3, 4)

№	Исходная суспензия	Объем исходной суспензии, мл	Время наблюдения, мин	Степень разрушения столба, %	Высота пены, см
1	0,03 мл гексиламина + 10 мл 20 % людокс	2	6	93	5,4
2	0,03 мл гексиламина + 10 мл 20 % людокс	3	5	84	5
3	0,08 мл гексиламина + 10 мл 20 % людокс	3	4	59	11
4	0,08 мл гексиламина + 10 мл 2 % раствора аэросила	4,5	60	35	2

Как видно из табл. 2, при степени гидрофобизации исходных частиц менее 30^0 (опыты №1 и №2) происходило образование пен высотой 5-5,4 см. При этом увеличение количества гидрофобизованных частиц, добавленных к воде, насыщенной дизельным топливом, повышало устойчивость образующейся пены. При добавлении 2 мл исходной суспензии через 6 минут разрушалось 93 % исходного столба. При добавлении 3 мл исходной суспензии в течение такого же времени разрушалось 84 % исходного столба. Устойчивость пены возрастала при увеличении степени гидрофобизации частиц в исходной суспензии. В частности, при добавлении 3 мл суспензии, в составе которой 0,08 мл гексиламина + 10 мл 20 % людокс, к воде, содержащей дизельное топливо, высота столба составляла 11 см, за 4 минуты разрушалось 59 % столба пены. Повышение устойчивости пен при увеличении степени гидрофобизации частиц людокс обсуждалось ранее. Однако пены, стабилизированные золем людокс такой же концентрации, в отсутствие растворенной органической жидкости в дисперсионной среде были значительно устойчивее. В частности, 70 % пенного слоя, полученного из золя людокс 20 % + 63,8 ммоль/л гексиламина (см. табл. 1), сохраняло устойчивость в течение 4 месяцев. При этом процесс сопровождался заметным диффузионным укрупнением пузырьков. Через 2-4 часа разрушалось не более 29 % пенного столба.

Экспериментальные исследования показали, что устойчивость пен, содержащих гидрофобизованный кремнезем и образованных в водной среде в присутствии растворенного дизельного топлива, также определяется степенью гидрофобизации твердых частиц и их концентрацией в исходной суспензии (см. табл. 1). Отметим, что гидрофобизация частиц только маслом не приводит к образованию устойчивой пены. В частности, 2 % золь людокс смешивали с ДТ (соотношение объемов 3:2), интенсивно встряхивали. Гидрофобизация частиц маслом приводила к образованию 5 мм пены, которая разрушалась в течение двух минут (наблюдали образование “зеркала”). Добавление золя людокс к воде, насыщенной дизельным топливом, приводило к образованию 2 мм разрушающейся в течение одной минуты пены.

В работе [17] показано, что частицы аэросила заметно укрупняются при увеличении концентрации гексиламина в исходном растворе. В частности, при повышении

концентрации гексилamina от 18 до 40 ммоль/л в суспензии 2 % аэросила увеличивались размеры частиц от 3 до 32 мкм. Использование аэросила (см. табл. 2) для получения пены приводило к меньшему пенообразованию (высота слоя не превышала 2 см). Однако пена сохраняла устойчивость, в течение 60 минут разрушилось только 39 % пенного слоя.

Заключение

Гидрофобизованные частицы кремнезема способствуют образованию пен в водных растворах, насыщенных дизельным топливом. Устойчивость пен, содержащих модифицированный людокс, увеличивалась при повышении концентрации твердых частиц в исходной суспензии и степени их гидрофобизации. Увеличение размера гидрофобизованных частиц (при использовании аэросила) изменяет интенсивность процесса пенообразования (приводит к уменьшению высоты столба), однако не оказывает заметного влияния на устойчивость пены.

Список литературы

1. Osei-Bonsu, Kofi. Foam stability in the presence and absence of hydrocarbons: From bubble- to bulk-scale/ Kofi Osei-Bonsu, Nima Shokri, Paul Grassia // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2015. – Vol. 481. – P. 514–526.
2. Кругляков, П.М. Механизмы пеногасящего действия / П.М. Кругляков // *Успехи химии*. – 1994. – Т.63, №6. – С.469–556.
3. Minssieux, L. Oil displacement by foams in relation to their physical properties in porous media / L. Minssieux // *J. Petrol. Technol.* – 1974. – N26. – P. 100–108.
4. Schramm, L.L. The destabilization of foams for improved oil recovery by crude oils: effect of the nature of the oil / L.L. Schramm, J.J. Novosad // *J. Petrol. Sci. Eng.* – 1992. – N7 – P. 77–90.
5. Denkov, N.D. Mechanisms of foam destruction by oil-based antifoams / N.D. Denkov // *Langmuir* – 2004. – Vol. 20. – P. 9463–9505.
6. Nikolov, A. The effect of oil on foam stability: mechanisms and implications for oil displacement by foam in porous media / A. Nikolov, D. Wasan, D. Huang, D. Edwards // *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas* –1986. – SPE 15443.
7. Mannhardt, K. Foam/oil interactions at reservoir conditions / K. Mannhardt, J. Novosad, L. Schramm // *In Symposium on improved oil recovery, Tulsa, Oklahoma* – 1998. – SPE 39681.
8. Mannhardt, K. Effect of oil saturation on foam propagation in Snorre reservoir core / K. Mannhardt, I. Svorstol // *J. Petrol. Sci. Eng.* –1999. – N 23. – P. 189–200.
9. Aveyard, R. Aspects of aqueous foam stability in the presence of hydrocarbon oils and solid particles / R. Aveyard, B.P. Binks, P.D.I. Fletcher, T.G. Peck, C.E. Rutherford // *Adv. Colloid Interface Sci.* – 1994. – Vol. 48. – P. 93–120.
10. Koczko, K. Effect of oil on foam stability: aqueous foams stabilized by emulsions / K. Koczko, L.A. Lobo, D.T. Wasan // *J. Colloid Interface Sci.* –1992. – 150. – P. 492–506.
11. Vikingstad, A.K. Foam–oil interactions analyzed by static foam tests / A.K. Vikingstad, A. Skauge, H. Hoiland, M. Arra // *Colloid Surf. A.* –2005. – Vol. 260. –P. 189–198.
12. Koczko, K. Mechanisms for antifoaming action in aqueous systems by hydrophobic particles and insoluble liquids / K. Koczko, J.K. Koczko, D.T. Wasan // *J. Colloid Interface Sci.* – 1994. – Vol. 166. – P. 225–238.
13. Vilkova, N.G. Foam films stabilized by solid particles / N.G. Vilkova, S.I. Elaneva, P.M. Kruglyakov, S.I. Karakashev // *Mendeleev commun.* – 2011. – N 21. – P. 344–345.
14. Vilkova, N.G. Effect of hexilamine concentration on the properties of foams and foam films stabilized by Ludox / N.G. Vilkova, S.I. Elaneva, S.I. Karakashev // *Mendeleev commun.* – 2012. – № 22. – P.227–228.
15. Vilkova, N.G. Influence of hydrofobized solid particles on the reduction of interface tension / N.G. Vilkova, A.V. Nushtaeva // *Mendeleev commun.* –2013. – N 23. – P. 155–156.
16. Вилкова, Н.Г. Влияние гидрофобности частиц кремнезема на свойства пен и пенных пленок / Н.Г. Вилкова, С.И. Еланева // *Химия и химическая технология*. – 2013. – Т. 56 (9). – С. 62–66.

17. Kruglyakov, P.M. About mechanism of foam stabilization by solid particles / P.M. Kruglyakov, S.I. Elaneva, N.G. Vilkova // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2011. – V.165. – P. 40–50.

18. Нуштаева, А.В. Стабилизация пен и эмульсий нерастворимыми порошками / А.В. Нуштаева, Н.Г. Вилкова, С.И. Еланева. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 125 с.

References

1. Osei-Bonsu, Kofi. Foam stability in the presence and absence of hydrocarbons: From bubble- to bulk-scale/ Kofi Osei-Bonsu, Nima Shokri, Paul Grassia // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2015. – Vol. 481. – P. 514–526.

2. Kruglyakov, P.M. Mechanisms of defoaming action / P.M. Kruglyakov // *Chemistry Advances*. – 1994. – Vol. 63, N6. – P.469–556.

3. Minssieux, L. Oil displacement by foams in relation to their physical properties in porous media / L. Minssieux // *J. Petrol. Technol.* – 1974. – N26. – P. 100–108.

4. Schramm, L.L. The destabilization of foams for improved oil recovery by crude oils: effect of the nature of the oil / L.L. Schramm, J.J. Novosad // *J. Petrol. Sci. Eng.* – 1992. – N7 – P. 77–90.

5. Denkov, N.D. Mechanisms of foam destruction by oil-based antifoams / N.D. Denkov // *Langmuir* – 2004. – Vol. 20. – P. 9463–9505.

6. Nikolov, A. The effect of oil on foam stability: mechanisms and implications for oil displacement by foam in porous media / A. Nikolov, D. Wasan, D. Huang, D. Edwards // *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas* –1986. – SPE 15443.

7. Mannhardt, K. Foam/oil interactions at reservoir conditions / K. Mannhardt, J. Novosad, L. Schramm // *In Symposium on improved oil recovery, Tulsa, Oklahoma* – 1998. – SPE 39681.

8. Mannhardt, K. Effect of oil saturation on foam propagation in Snorre reservoir core / K. Mannhardt, I. Svorstol // *J. Petrol. Sci. Eng.* –1999. – N23. – P. 189–200.

9. Aveyard, R. Aspects of aqueous foam stability in the presence of hydrocarbon oils and solid particles / R. Aveyard, B.P. Binks, P.D.I. Fletcher, T.G. Peck, C.E. Rutherford // *Adv. Colloid Interface Sci.* – 1994. – Vol. 48. – P. 93–120.

10. Koczko, K. Effect of oil on foam stability: aqueous foams stabilized by emulsions / K. Koczko, L.A. Lobo, D.T. Wasan // *J. Colloid Interface Sci.* –1992. – 150. – P. 492–506.

11. Vikingstad, A.K. Foam–oil interactions analyzed by static foam tests / A.K. Vikingstad, A. Skauge, H. Hoiland, M. Aarra // *Colloid Surf. A*. –2005. – Vol. 260. –P. 189–198.

12. Koczko, K. Mechanisms for antifoaming action in aqueous systems by hydrophobic particles and insoluble liquids / K. Koczko, J.K. Koczko, D.T. Wasan // *J. Colloid Interface Sci.* – 1994. – Vol. 166. – P. 225–238.

13. Vilkova, N.G. Foam films stabilized by solid particles / N.G. Vilkova, S.I. Elaneva, P.M. Kruglyakov, S.I. Karakashev // *Mendeleev commun.* – 2011. – N 21. – P. 344–345.

14. Vilkova, N.G. Effect of hexilamine concentration on the properties of foams and foam films stabilized by Ludox / N.G. Vilkova, S.I. Elaneva, S.I. Karakashev // *Mendeleev commun.* – 2012. – № 22. – P.227–228.

15. Vilkova, N.G. Influence of hydrophobized solid particles on the reduction of interface tension / N.G. Vilkova, A.V. Nushtaeva // *Mendeleev commun.* –2013. – N 23. – P. 155–156.

16. Vilkova, N.G. Influence of silica particles hydrophobicity on the properties of foams and foam films / N.G. Vilkova, S.I. Elaneva // *Chemistry and chemical technology*. – 2013. – Vol. 56(9). – P. 62–66.

17. Kruglyakov, P.M. About mechanism of foam stabilization by solid particles / P.M. Kruglyakov, S.I. Elaneva, N.G. Vilkova // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2011. – V.165. – P. 40–50.

18. Nushtaeva, A.V. Stabilization of foams and emulsions with insoluble powders / A.V. Nushtaeva, N.G. Vilkova, S.I. Elaneva. – Пенза: PSUAC, 2011. – 125 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

Баканова Светлана Викторовна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: SvBakanova@mail.ru

Алексеева Татьяна Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
E-mail: alekseeva-tatyana-1973@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

Bakanova Svetlana Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Heat, gas supply and
ventilation»
E-mail: SvBakanova@mail.ru

Alekseeva Tatyana Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Heat, gas supply and
ventilation»
E-mail: alekseeva-tatyana-1973@mail.ru

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГИГРОСКОПИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С КОНДИЦИОНИРОВАННЫМ ВОЗДУХОМ

А.И. Ерёмкин, С.В. Баканова, Т.В. Алексеева

Рассматривается математическая модель гигроскопических процессов взаимодействия текстильных материалов с кондиционированным воздухом. Предложена аналитическая зависимость для определения параметров внутреннего микроклимата на текстильных предприятиях, с приемлемой точностью описывающая равновесный процесс взаимодействия текстильных волокон с воздухом систем кондиционирования.

Ключевые слова: текстильные материалы, гигроскопичность, кондиционирование воздуха, взаимодействие, аналитическая зависимость, практические вычисления

DEVELOPMENT OF THE PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODEL OF HYDROSTATIC PROCESSES OF INTERACTION OF TEXTILE MATERIALS WITH CONDITIONED AIR

A.I. Eremkin, S.V. Bakanova, T.V. Alekseeva

The physical and mathematical model of hydrostatic processes of interaction of textile materials with the conditioned air is considered. The analytical dependence for determination of parameters of an internal microclimate at the textile enterprises which is rather accurately describing equilibrium process of interaction of textile fibers with air of conditioning systems is offered.

Keywords: capillary-porous materials, air-conditioning, internal microclimate parameters, analytical dependence of equilibrium process

При определении параметров внутреннего воздуха – относительной влажности $\varphi(x)$, %, и температуры t_b , °C, – в производственных помещениях для обеспечения качества технологического процесса переработки текстильных волокон, как правило, используют экспериментально полученные изотермы сорбции, т.е. зависимости равновесной влажности волокон $W_p(x)$, %, от относительной влажности воздуха $\varphi(x)$ при постоянной температуре t_b , °C.

Проведение таких экспериментов требует значительных затрат, связанных с использованием специализированных лабораторий со стабильным микроклиматом, современного оборудования и приборов, а также высокой точности измерений необходимых параметров t , °C, $\varphi(x)$, %, W_p , % [1, 2].

В статье рассматривается аналитическая зависимость равновесной влажности от относительной влажности воздуха, $W_p = f(\varphi)_t$, необходимая при определении параметров внутреннего микроклимата в производственных помещениях текстильных предприятий.

Строгой аналитической зависимости $W_p = f(\varphi)$ на всем протяжении изменения φ (от 0 до 100 %) современная теория сорбции влаги не дает. Существует множество приближений к описанию такой зависимости, например [1, 2, 3], однако все известные из литературы формулы адекватно описывают функцию $W_p = f(\varphi)$ только в достаточно узких пределах изменения относительной влажности воздуха φ .

На рис. 1 изображены графики зависимости равновесной влажности текстильного материала W_p от относительной влажности воздуха φ , полученные экспериментально [1]. Форма связи изотермы сорбции определяется формой связи влаги с влажным материалом.

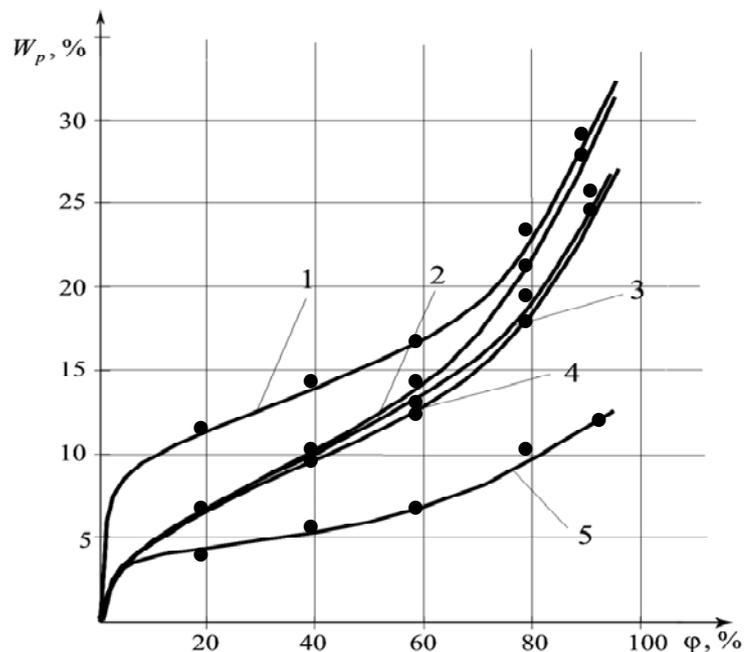


Рис. 1. Экспериментальная зависимость равновесной влажности волокон $W_p(x)$, %, от относительной влажности воздуха $\varphi(x)$, %:
1 – пряжа; 2 – вискоза; 3 – шерсть; 4 – ровница; 5 – капрон

На первом участке при относительной влажности в интервале от 0 до 10 % изотерма сорбции имеет выпуклость кривой «вверх» и характеризует мономолекулярную адсорбцию.

На втором участке, при изменении $\varphi(x)$ от 10 до 60 %, кривая сорбции имеет прямолинейный характер и соответствует полимолекулярной адсорбции.

На третьем участке, когда $\varphi(x)$ изменяется от 60 до 100 %, кривая сорбции меняет направление выпуклости и соответствует частично полимерной адсорбции и капиллярной конденсации влаги (смешанная область).

Анализируя вид кривых сорбции (см. рис. 1), можно сделать вывод, что для регрессионного описания экспериментальной зависимости целесообразно выделить два участка на каждой кривой: при $0 < \varphi(x) < \varphi_c$ – участок выпуклостью вверх и при $\varphi_c < \varphi(x) < 100\%$ – участок выпуклостью вниз. Здесь φ_c – некоторый усредненный параметр (константа) из интервала (10–60 %), имеющий определенное значение для каждого вида текстильного материала. На первом и втором выделенных участках установим аналитическую зависимость равновесного влагосодержания от влажности воздушного потока $W_p = f(\varphi)$, используя при этом следующие рассуждения.

На первом участке кривой адсорбции логично предположить, что скорость роста объема адсорбированной влаги пропорциональна ее значению при данной влажности воздуха φ , так как осаждаемые на материал молекулы влаги создают дополнительные центры адсорбции, что способствует ускорению увлажнения. То есть скорость роста адсорбции влаги от относительной влажности воздушного потока $\frac{dW_p}{d\varphi}$ пропорциональна W_p .

Далее, величина $\frac{dW_p}{d\varphi}$ должна быть пропорциональна разности $(W_m - W_p)$,

где W_m – константа, характеризующая предельное влагосодержание пористого материала. Эта величина отражает потенциальную возможность роста равновесной влажности W_p .

Сказанное выше позволяет получить уравнение

$$\frac{dW_p}{d\varphi} = k \cdot W_p \cdot (W_m - W_p), \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Решение этого уравнения зависит от некоторой константы W_n , характеризующей начальную равновесную влажность волокон:

$$W_p = \frac{W_n}{1 + \left(\frac{W_n}{W_m} - 1\right) e^{-k\varphi}}. \quad (2)$$

Отметим, что максимальная скорость изменения W_p будет наблюдаться, если $\frac{d^2W_p}{d\varphi^2} = 0$, то есть когда

$$k^2 \cdot W_p \cdot (W_m - W_p) \cdot (W_m - 2W_p) = 0.$$

И так как $0 < W_p < W_m$, то $W_p = \frac{W_m}{2}$. При этом

$$\varphi = \frac{1}{W_m \cdot k} \cdot \ln \left(\frac{W_m}{W_n} - 1 \right). \quad (3)$$

Формула (3) может быть использована при решении задач оптимизации процесса увлажнения капиллярно-пористых текстильных волокон в зависимости от величины относительной влажности кондиционированного воздуха $\varphi(x)$.

На втором участке изменения φ при $\varphi \geq \varphi_c$ включается другой механизм влагонаполнения капиллярно-пористой среды, который имеет полимолекулярный, а затем и капиллярный характер. Естественно предположить, что возрастание W_p с ростом φ имеет экспоненциальный характер:

$$W_p = k_2 \cdot e^{k_1(\varphi - \varphi_c)}. \quad (4)$$

Коэффициенты k_1 , k_2 и φ_c – некоторые «рабочие» константы, значения которых можно подобрать экспериментальным путем с использованием методов аналитической обработки.

Суммируя рассмотренные случаи (2) и (4), получим общее выражение зависимости W_p от φ :

$$W_p = k_2 \cdot e^{k_1(\varphi - \varphi_c)} + \frac{W_M}{1 + \left(\frac{W_M}{W_H} - 1\right) e^{-k\varphi}}. \quad (5)$$

Вид кривой, задаваемой уравнением (5), при некоторых расчетных значениях рабочих параметров показан на рис. 2.

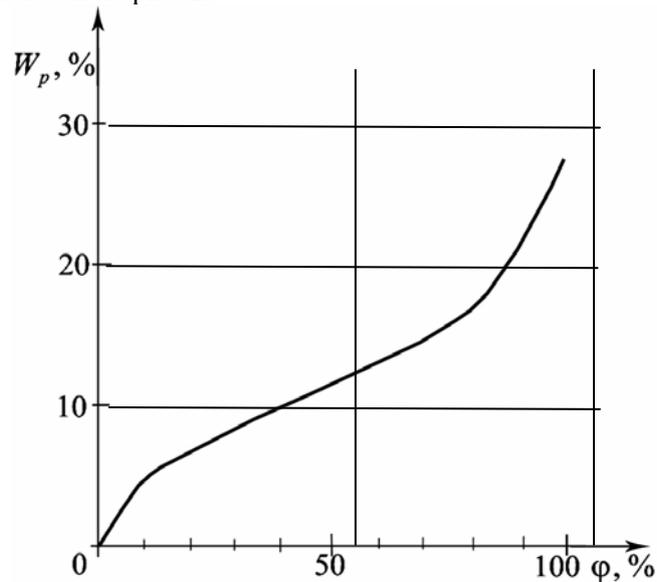


Рис. 2. Теоретическая зависимость равновесной влажности волокон $W_p(x)$ от относительной влажности воздуха $\varphi(x)$

На рис. 3, а-д, в качестве иллюстраций приводятся экспериментальные 1, соответствующие приведенным на рис. 1, и теоретические 2 изотермы сорбции влаги для различных капиллярно-пористых материалов (вискоза, пряжа, шерсть, капрон, ровница).

Предлагаемая модель зависимости равновесного влагосодержания капиллярно-пористого материала от относительной влажности воздушного потока $W = f(\varphi)$ является продуктом двух направлений математического моделирования: расчетно-исследовательского, основанного на использовании физических предпосылок и описаний процессов, и экспериментально-статистического, когда вид математических закономерностей строится исходя исключительно из математической обработки экспериментальных данных.

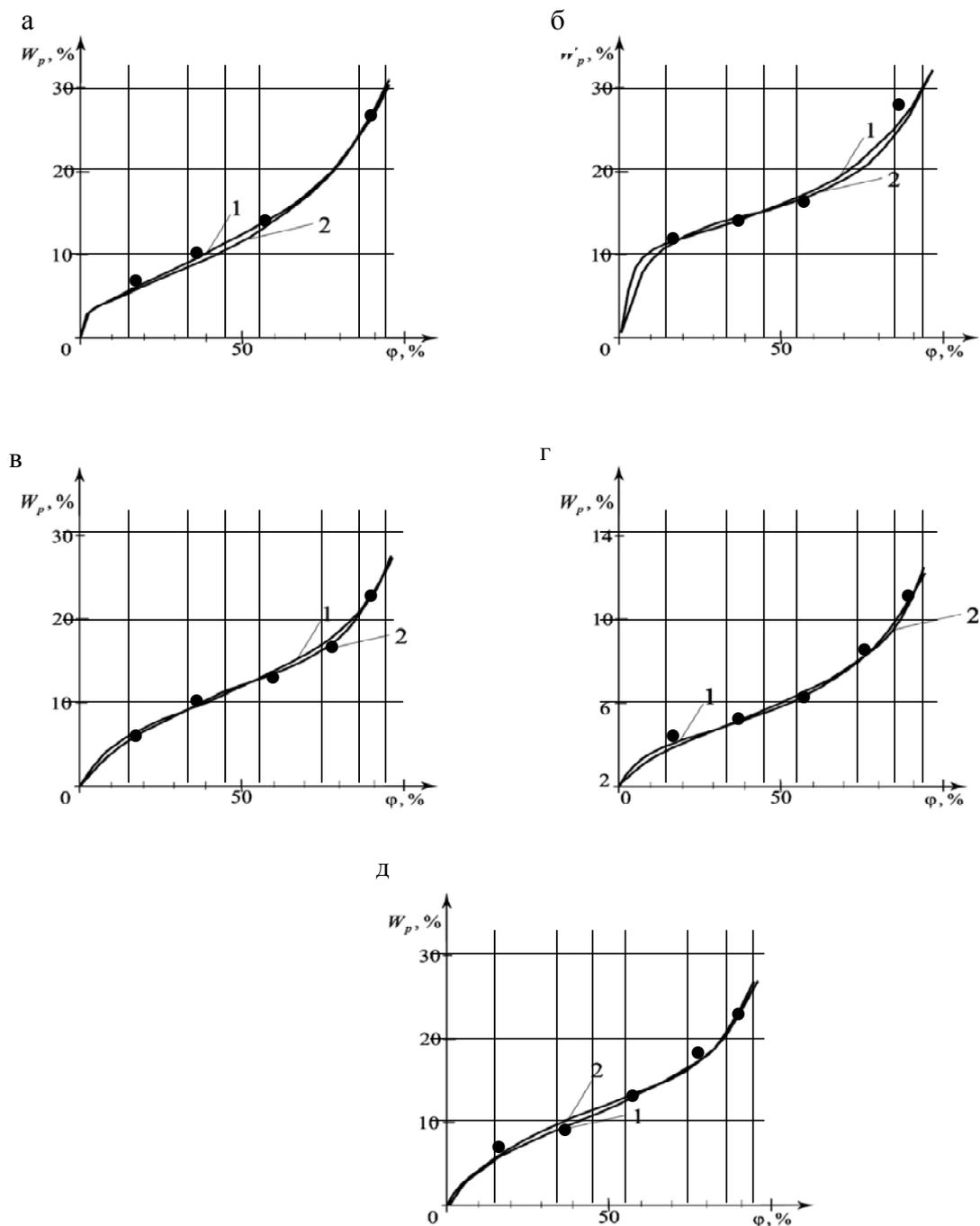


Рис. 3. Экспериментальная (1) и теоретическая (2) зависимости влагосодержания $W_p(x)$ от относительной влажности воздуха $\phi(x)$:
а – вискоза; б – пряжа; в – шерсть; г – капрон; д – ровница

Таким образом, изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что математическая зависимость (5) с приемлемой точностью описывает равновесный процесс взаимодействия текстильных волокон с кондиционированным воздухом при максимальном отклонении в 5–9 % рассчитанных значений от экспериментальных, поэтому она может быть использована для практических вычислений.

1. Еремкин, А.И. О некоторых закономерностях адсорбции влаги в капиллярно-пористых коллоидных материалах при увлажнении кондиционированным воздухом / А.И. Еремкин // Известия вузов. – Новосибирск, 2005. – № 1. – С. 57.
2. Еремкин, А.И. Математическая модель процесса увлажнения текстильных волокон при взаимодействии кондиционированным воздухом / А.И. Еремкин // Известия вузов. – Новосибирск, 2004. – № 12. – С. 55.
3. Математическая модель текстильного материала в процессе увлажнения / А.И. Еремкин, С.В. Баканова, А.Н. Кошев, Ю.В. Родионов, О.В. Тараканов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №4.

References

1. Eremkin, A.I. On some laws of moisture adsorption in capillary-porous colloidal materials in humidification of air conditioning. / A.I. Eremkin // News of higher educational institutions. – Novosibirsk, 2005. – № 1. – P. 57.
2. Eremkin, A.I. Mathematical model of the process of moisturizing textile fibers in the interaction of conditioned air / A.I. Eremkin // News of higher educational institutions. – Novosibirsk, 2004. – № 12. – P. 55.
3. Mathematical model of a textile material in the process of hydration / I.A. Eremkin, S.V. Bakanova, A.N. Koshev, Y.V. Rodionov, O.V. Tarakanov // Regional architecture and engineering. – 2017. – No. 4.

УДК 696.2

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

Россия, 410054, г. Саратов,
ул. Политехническая, 77,
тел.: (8452) 99-88-11; факс: (8452) 99-88-10

Осипова Наталия Николаевна,
доктор технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Теплогасоснабжение,
вентиляция, водообеспечение и прикладная
гидрогазодинамика»
E-mail: osnat75@mail.ru

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Грейсух Григорий Исаевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Физика и химия»
E-mail: grey@pguas.ru

Ежов Евгений Григорьевич,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Информационно-
вычислительные системы»

Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin

Russia, 410054, Saratov,
77, Polytechnicheskaya St.,
tel.: (8452) 99-88-11; факс: (8452) 99-88-10

Osipova Natalya Nikolaevna,
Doctor of Sciences, Associate Professor,
Head of the Department «Heat and Gas
Supply, Ventilation, Water Supply and
Applied Hydroaerodynamics»
E-mail: osnat75@mail.ru

Penza State University of Architecture and Construction

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

Grishin Boris Mikhailovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Greysoukh Grigoriy Isaevich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Physics and Chemistry»
E-mail: grey@pguas.ru

Ezhov Evgeniy Grigorievich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Information and computing
systems»

РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ БАЛЛОННЫХ УСТАНОВОК СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА

Н.Н. Осипова, Б.М. Гришин, Г.И. Грейсух, Е.Г. Ежов

Приводятся результаты исследований по влиянию климатических условий на режимы эксплуатации баллонных установок сжиженного углеводородного газа. Обоснованы условия применения наружных баллонных установок, определены технологические параметры их эксплуатации при внутриквартирном размещении. Установлен рекомендуемый остаточный уровень заполнения баллонов (24-33 %) при использовании газа на нужды пищевого приготовления и горячего водоснабжения, позволяющий обеспечить бесперебойное газоснабжение и создать резервный запас газа у потребителей при несвоевременной доставке баллонов по организационным и техническим причинам.

Ключевые слова: сжиженный углеводородный газ, баллонные установки, паропроизводительность, остаточный уровень заполнения, резервный запас газа

OPERATING MODES OF GAS SUPPLY SYSTEMS BASED ON CYLINDER SYSTEMS OF LIQUEFIED HYDROCARBON GAS

N.N. Osipova, B.M. Grishin, G.I. Greysoukh, E.G. Ezhov

Results of the study regarding the influence of climatic conditions on operating modes of cylinder units of liquefied hydrocarbon gas (LHG) are provided. Conditions for use of external cylinder units

are justified, process parameters for their operation with indoor location are determined. Recommended residual level of cylinder filling (24-33 %) for use of gas for needs of cooking and hot water supply is determined, which allows to ensure continuous gas supply, forming consumers' buffer stock in case of untimely delivery of cylinders due to organizational and technical reasons.

Keywords: liquefied hydrocarbon gas, cylinder units, gas consumption, residual filling level, gas buffer stock.

При газоснабжении отдельных домовладений и малоэтажных зданий, мелких коммунально-бытовых и промышленных объектов, а также объектов сельскохозяйственного назначения в настоящее время широко используются портативные и стационарные баллоны емкостью от 1 до 80 литров с избыточным давлением до 1,6 МПа. Наиболее распространены баллоны емкостью 27 и 50 литров. Последние располагаются в помещении, где установлены газовые приборы, или в специальных шкафах снаружи здания.

При проектировании газоснабжения на базе баллонных установок, как правило, ориентируются на практические рекомендации: баллон объемом 50 литров гарантирует газоснабжение потребителей до 30 суток при использовании газа только на цели приготовления пищи, то есть только при работе газовой плиты. При этом считается, что газ из баллона расходуется потребителем в полном объеме и наличие остаточного уровня газа не предусматривается (Клименко А.П.; Стаскевич Н.Л.). Вместе с тем при низком остаточном уровне газа в баллоне естественная испарительная способность последнего не удовлетворяет расчетному газопотреблению. Потребитель в данном случае вынужден довольствоваться меньшим количеством газа, то есть наблюдается частичный отказ системы газоснабжения. В ряде случаев, особенно при низких температурах окружающего воздуха, испарение газа в баллоне вообще прекращается, и потребитель не получает газ в течение определенного времени (полный отказ системы газоснабжения).

Особенности географического положения территории России, характеризующиеся значительной дифференциацией климатических условий, требуют более качественного подхода к вопросам проектирования и эксплуатации систем газоснабжения. При выборе конструктивных решений по вопросам газификации сжиженным углеводородным газом (СУГ) детерминирующую роль играют температуры наружного воздуха в холодный период времени года.

Элементы систем снабжения сжиженным углеводородным газом (газопроводы, баллонные и резервуарные установки и т.д.) не обладают способностью удерживать тепло (теплоаккумуляцией), в связи с этим даже непродолжительные во времени отклонения температуры окружающей среды от расчетных значений могут существенно влиять на эксплуатационные режимы систем газоснабжения. Таким образом, выбор значений температуры окружающей среды для расчета следует осуществлять с учетом ее рекомендуемой обеспеченности в соответствии с [1]. Коэффициент обеспеченности расчетных температурных условий для систем инженерного оборудования зданий и сооружений рекомендуется принимать в размере $K=0,5-0,9$. Следовательно, фактическая температура окружающей среды может превысить ее расчетное значение не более чем один раз за период эксплуатации системы газоснабжения в два года ($K=0,5$) или не более чем один раз за период эксплуатации в десять лет ($K=0,9$).

Определяющим условием устойчивой и безопасной работы баллонных установок является избыточное давление насыщенных паров, величина которого зависит от компонентного состава газа, а также температуры окружающего воздуха. Наличие избыточного давления газа в баллонах определяет достаточные условия для стабильной регазификации продукта и снабжения паровой фазой потребителя.

В качестве верхнего уровня обеспеченности газопотребления принята эксплуатация баллонной установки в номинальном режиме (при номинальном расходе газа газовой плитой). В качестве нижнего уровня обеспеченности – наличие в сосуде избыточного давления 0,05 МПа при температуре СУГ, равной температуре наружного воздуха (из условия надежной работы регулятора давления). При данных условиях

баллонная установка не гарантирует достаточную паропроизводительность, но обеспечивает подачу некоторого минимального количества газа потребителю при минимальном уровне газопотребления.

Для обоснования условий эксплуатации газобаллонных установок проведены комплексные исследования, позволяющие определить сферу применения наружных газобаллонных установок, режимы эксплуатации баллонов при их установке внутри газифицируемых помещений, остаточный уровень заполнения сосудов с учетом резервного запаса газа.

Для проведения исследования использовались методы вариантных расчетов, последовательных приближений и сравнительного анализа.

Результаты исследований по определению условий эксплуатации наружных газобаллонных установок представлены на рис. 1.

Исследования проводились при следующих исходных предпосылках:

- климатическая зона эксплуатации: очень холодная, холодная, умеренно-холодная, умеренно-теплая;
- расчетные температуры наружного воздуха с учетом климатической зоны эксплуатации и коэффициента обеспеченности температурных условий по [1];
- компонентный состав сжиженного углеводородного газа: пропан технический и пропан-бутан технический, бутан технический [2].

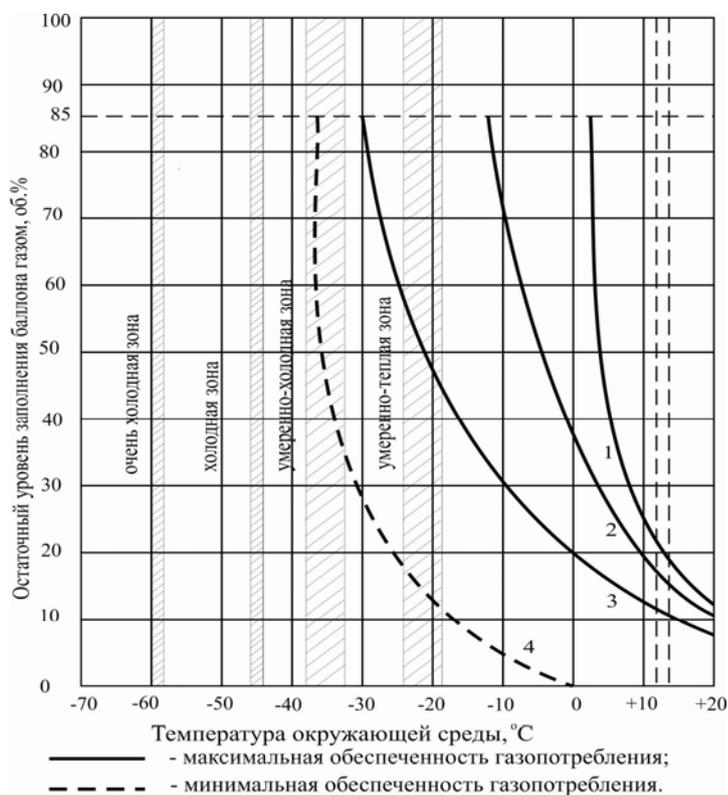


Рис. 1. Определение условий эксплуатации наружных газобаллонных установок:
1 – сжиженный газ марки «бутан технический»; 2 – сжиженный газ марки «пропан-бутан технический»; 3, 4 – сжиженный газ марки «пропан технический»

Как показывают проведенные исследования (см. рис.1), в холодной и умеренно-холодной климатических зонах наружные газобаллонные установки в зимнее время не обеспечивают бесперебойного газоснабжения даже при минимальном уровне газопотребления. В условиях умеренно-теплой климатической зоны минимальный уровень газопотребления обеспечивается при наличии остаточного уровня газа в размере 44÷68 % (в зависимости от компонентного состава СУГ и обеспеченности темпера-

туры наружного воздуха), что неприемлемо ни с технической, ни с экономической точки зрения.

Таким образом, область применения наружных газобаллонных установок – газификация объектов временного функционирования (дачные поселки, летние туристические базы, сезонные предприятия сельскохозяйственного производства и др.) при положительных температурах окружающей среды.

Установка баллонов внутри отапливаемых помещений и их эксплуатация при положительных температурах окружающего воздуха (+10 °С и выше) обеспечивает минимальное газопотребление при наличии любого остаточного уровня газа. Вместе с тем работа газобаллонной установки с максимальной обеспеченностью газопотребления требует обоснования необходимого остаточного уровня газа в баллоне.

Естественная регазификация сжиженного газа в баллоне обуславливается наличием двух факторов:

- за счет снижения внутренней энергии системы: жидкость – металл;
- за счет теплопритока из окружающей среды над действием температурного напора: воздух – жидкая фаза СУГ.

При длительном газопотреблении с постоянным отбором паров наблюдается стационарный тепловой режим эксплуатации баллона. При этом тепло, расходуемое на испарение (регазификацию) СУГ, обеспечивается за счет теплопритока из окружающего воздуха.

Расчетная паропроизводительность емкости g , кг/ч, в условиях стационарного отбора паров определяется по формуле (Курицын Б.Н.)

$$g = \frac{k \cdot F_{\text{см}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{ж}})}{r}, \quad (1)$$

где k – коэффициент теплопередачи баллона, Вт/(м²·К); $F_{\text{см}}$ – смоченная поверхность баллона, м²; $t_{\text{в}}$ – температура окружающей среды, °С; $t_{\text{ж}}$ – температура сжиженного газа в емкости, °С; r – теплота парообразования сжиженного газа, Вт·ч/кг.

Смоченная поверхность баллона $F_{\text{см}}$ определяется по графику (рис. 2) в зависимости от величины остаточного уровня заполнения баллона перед очередной заправкой.

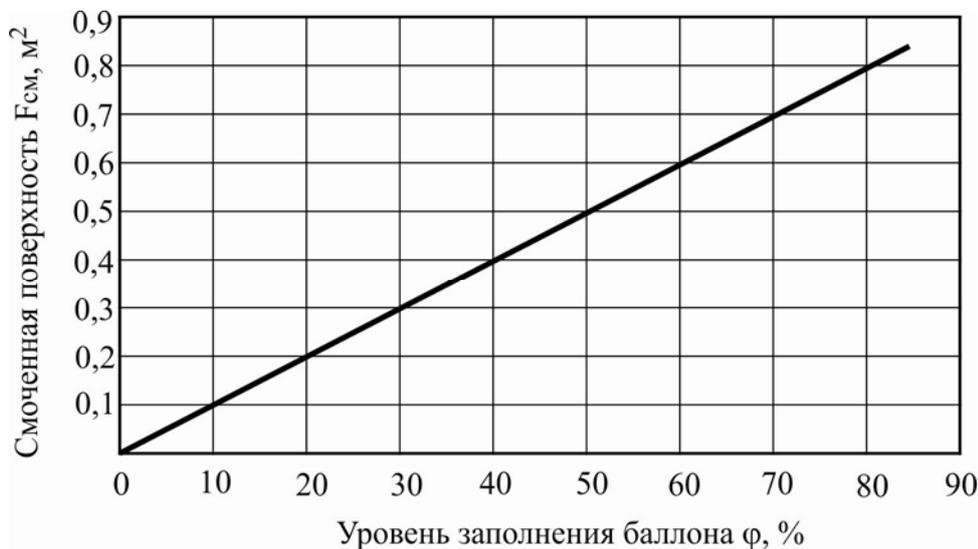


Рис. 2. Зависимость площади смоченной поверхности баллона 50 л от уровня заполнения его сжиженным газом

В реальных условиях эксплуатации баллонных установок потребление газа носит динамический характер. Суточная динамика газопотребления наблюдается у объектов промышленного и коммунально-бытового назначения. Она обусловлена сменностью работы предприятий, спецификой использования газового оборудования в течение

периода газопотребления. Крайней часовой неравномерностью отличается потребление газа жилыми зданиями.

В общем случае дифференциальное уравнение теплового баланса баллонной установки имеет следующий вид:

$$k \cdot F_{\text{см}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{ж}}) \cdot d\tau - r \cdot g \cdot d\tau = \pm (c_{\text{ж}} \cdot M_{\text{ж}} + c_{\text{м}} \cdot M_{\text{м}}) \cdot dt_{\text{ж}}, \quad (2)$$

где $d\tau$ – дифференциальное приращение времени, ч; dt – дифференциальное приращение температуры сжиженного газа, °С; $c_{\text{м}}, c_{\text{ж}}$ – весовые теплоемкости металлического корпуса баллона и жидкой фазы СУГ, Вт·ч/(кг·К); $M_{\text{м}}, M_{\text{ж}}$ – масса металлического корпуса и жидкой фазы СУГ в баллоне, кг.

Суточная динамика потребления газа вызывает соответствующую динамику тепловых режимов эксплуатации баллонных установок. Если величина теплопритока из окружающей среды превышает затраты теплоты на регазификацию СУГ, правая часть уравнения принимается со знаком плюс. Избыток теплоты аккумулируется баллонной установкой, повышая внутреннюю энергию системы жидкость – металл. Температура СУГ в емкости повышается.

Если расход теплоты на регазификацию СУГ превышает величину теплопритока, правая часть уравнения принимается со знаком минус. Дефицит теплоты для регазификации СУГ возмещается за счет снижения внутренней энергии системы жидкость – металл. Температура СУГ в баллоне понижается.

Решение уравнения (2) в такой обобщенной постановке в известных литературных источниках отсутствует. Отдельные решения, предложенные рядом авторов, описывают частные случаи эксплуатации газобаллонной установки:

- режим постоянного отбора паров g в условиях стационарного теплового состояния баллона (Курицын Б.Н.);
- режим постоянного газопотребления g в течение заданной продолжительности эксплуатации баллонной установки $\tau_{\text{отб}}$ (Стаскевич Н.Л.);
- режим циклической эксплуатации газобаллонной установки, сочетающий в себе периоды газопотребления с постоянной нагрузкой g в течение времени $\tau_{\text{отб}}$ и периоды отсутствия газопотребления ($g=0$) в течение времени $\tau_{\text{пер}}$ [3].

Указанные режимы, хотя и наблюдаются в реальной практике газоснабжения, все же не отражают в должной степени конкретную специфику потребления газа жилыми зданиями. В этой связи при разработке математической модели паропроизводительности баллонных установок сжиженного газа необходима реализация уравнения (2) в обобщенной постановке.

Разобьем общую продолжительность эксплуатации баллонной установки на ряд расчетных интервалов времени продолжительностью Δt и запишем уравнение (2) в конечно-разностной форме.

Тогда для j -го расчетного интервала, при $j=1, 2, \dots, n$, имеем

$$[k_j F_{\text{см},j} (t_{\text{в}} - t_{\text{ж},j}) - r g_j] \Delta \tau = \pm (c_{\text{ж}} M_{\text{ж},j} + c_{\text{м}} M_{\text{м},j}) \Delta t_{\text{ж},j}, \quad (3)$$

где g_j – расчетное газопотребление в j -м интервале эксплуатации баллонной установки, кг/ч; $t_{\text{ж},j}$ – средняя температура жидкой фазы СУГ в емкости в j -м интервале его эксплуатации, °С.

Изменение температуры СУГ в течение j -го интервала эксплуатации баллонной установки определяется из уравнения (3):

$$\Delta t_{\text{ж},j} = \frac{k_j F_{\text{см},j} (t_{\text{в}} - t_{\text{ж},j}) - r g_j}{c_{\text{ж}} M_{\text{ж},j} + c_{\text{м}} M_{\text{м},j}}. \quad (4)$$

Температура СУГ в конце j -го интервала эксплуатации находится по формуле

$$t_{\text{ж},j}^k = t_{\text{ж},j} + \Delta t_{\text{ж},j}. \quad (5)$$

Расчетные параметры баллонной установки в j -м интервале ее эксплуатации k_j , $F_{см,j}$, $M_{ж,j}$, $M_{м,j}$ определяются расчетом при соответствующем уровне заполнения емкости сжиженным газом φ_j .

Уровень заполнения емкости сжиженным газом в конце j -го интервала времени находится по уравнению

$$\varphi_j^k = \varphi_j - \frac{g_j \Delta \tau}{\rho_{ж} V}, \quad (6)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкой фазы СУГ, кг/м³; V – геометрический объем емкости, м³.

Принимая значения параметров $t_{ж,j}^k$ и φ_j^k в конце j -го интервала времени в качестве средних значений для последующего $j+1$ интервала эксплуатации $t_{ж,j+1}$, φ_{j+1} , задачу решаем шаговым методом. В качестве начальных параметров эксплуатации газобаллонной установки принимаем: $t_{ж,1} = t_{в}$; $\varphi_1 = 85\%$ (предельный уровень заполнения емкости сжиженным газом – согласно требованиям безопасной эксплуатации). По известной динамике уровня заполнения емкости сжиженным газом φ_j рассчитываем динамику компонентного состава СУГ $\psi_{i,ж,j}$ (при $i=1,2\dots m$). По известному составу СУГ $\psi_{i,ж,j}$ и его температуре $t_{ж,j}$ рассчитываем динамику давления паровой фазы в баллоне $P_{см,j}$ в соответствии с алгоритмом, изложенным в [4, 5].

Комплекс уравнений (2)-(6) представляет собой математическую модель паропроизводительности баллонных установок сжиженного газа. По сравнению с решениями других авторов предложенная модель учитывает суточную динамику газопотребления в сочетании с теплоаккумулирующей способностью баллонных установок и более адекватно отражает специфику потребления газа жилыми домами, обеспечивая использование дополнительных резервов паропроизводительности. Решение комплекса уравнений (2)-(6) показало, что установка баллонов емкостью 50 литров внутри отапливаемых помещений и их эксплуатация при положительных температурах окружающего воздуха (+10 °С и выше) обуславливают работу 4-конфорочной газовой плиты с максимальной обеспеченностью газопотребления в течение 22 суток, а 4-конфорочной плиты и проточного водонагревателя в течение 12 суток.

В целях выявления необходимого остаточного уровня газа в баллоне применительно к режиму работы газобаллонной установки по реальному графику газопотребления жилыми домами были проведены соответствующие исследования. В качестве расчетного режима газопотребления жилыми домами принималась работа газобаллонной установки по реальному графику газопотребления квартирой применительно к суткам с максимальным расходом газа.

Согласно Курицыну Б.Н. и Клименко А.П., максимальный суточный расход газа квартирой $g_{\max}^{\text{сут}}$, кг/сут, определяется по формуле

$$g_{\max}^{\text{сут}} = \frac{q_{\text{чел}}^{\text{год}} S k_{\max}^{\text{сут}}}{365 \cdot Q_p^H}, \quad (7)$$

где $q_{\text{чел}}^{\text{год}}$ – годовой расход газа на 1 человека, принимаемый в зависимости от газового оборудования квартиры, кДж/(чел.год); S – коэффициент заселенности квартиры, чел/кв; $k_{\max}^{\text{сут}}$ – коэффициент максимума суточного газопотребления, принимаемый в зависимости от газового оборудования квартиры; Q_p^H – теплотворная способность сжиженного углеводородного газа, кДж/кг.

В качестве объекта исследований принята индивидуальная газобаллонная установка с 50-литровым баллоном, размещенная в кухне газифицируемой квартиры.

В расчетах использовались следующие исходные данные и предпосылки.

1. Марка поставляемого сжиженного углеводородного газа: пропан-бутан технический.
2. Минимальное давление газа в баллоне по условиям устойчивой работы регулятора давления $0,14 \div 0,15$ МПа (абс).
3. Коэффициент заселенности квартиры 3 чел/кв.
4. Газовое оборудование квартиры: газовая 4-конфорочная плита ПГ-4; газовая 4-конфорочная плита ПГ-4 и газовый проточный водонагреватель ВПГ-23.
5. Часовая динамика потребления газа для суток максимального газопотребления (31 декабря) квартирами, оборудованными газовыми плитами, а также плитами и водонагревателями, в процентах от суточного газопотребления, полученная по данным экспериментальных наблюдений Курицына Б.Н.
6. Температура газа в баллоне в начале эксплуатации принималась равной температуре окружающего воздуха $t_{в}=18$ °С.

Температура газа в конце j -го интервала времени $t_{ж,j}^k$ определялась по формуле (5) при заданной величине часового газопотребления g_j и заданной величине уровня газа в баллоне φ_j . Затем определялись компонентный состав сжиженного газа и давление паровой подушки P , МПа, в конце очередного отбора паров. Необходимая величина остаточного уровня газа в баллоне $\varphi_{ост}$ находилась методом вариантных расчетов для реализации условия $P \approx 0,15$ МПа (абс).

Проведенными исследованиями установлено, что остаточный уровень сжиженного газа в баллоне при установке у потребителя 4-конфорочной газовой плиты должен быть не менее 24 %, 4-конфорочной газовой плиты и проточного водонагревателя – 32 %.

Характеристики работы баллонной установки представлены на графиках (рис.3, 4).

При работе газовой плиты и остаточном (резервном) уровне заполнения баллона сжиженным газом $\varphi_{ост}=24$ % (см. рис. 3) минимальное давление паров $0,155$ МПа (абс) имеет место в вечернее время (19÷20 часов) при минимальной температуре СУГ $11,8$ °С. В ночное время вследствие резкого снижения газопотребления температура жидкой фазы повышается и в конце ночного периода эксплуатации практически восстанавливается до температуры окружающей среды.

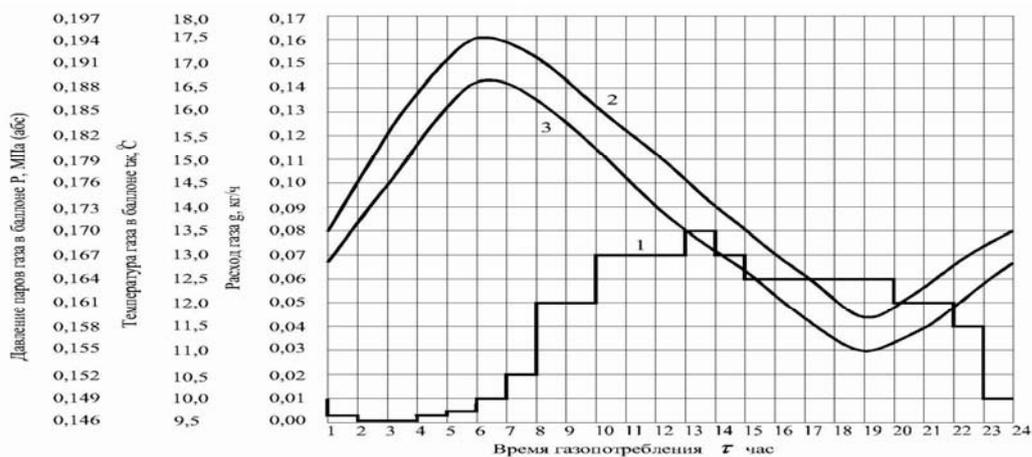


Рис. 3. Характеристика работы баллона при остаточном уровне заполнения 24 % (потребитель газа – газовая 4-конфорочная плита):
1 – расход газа g , кг/ч; 2 – температура газа в баллоне $t_{ж}$, °С;
3 – давление паров газа в баллоне P , МПа (абс)

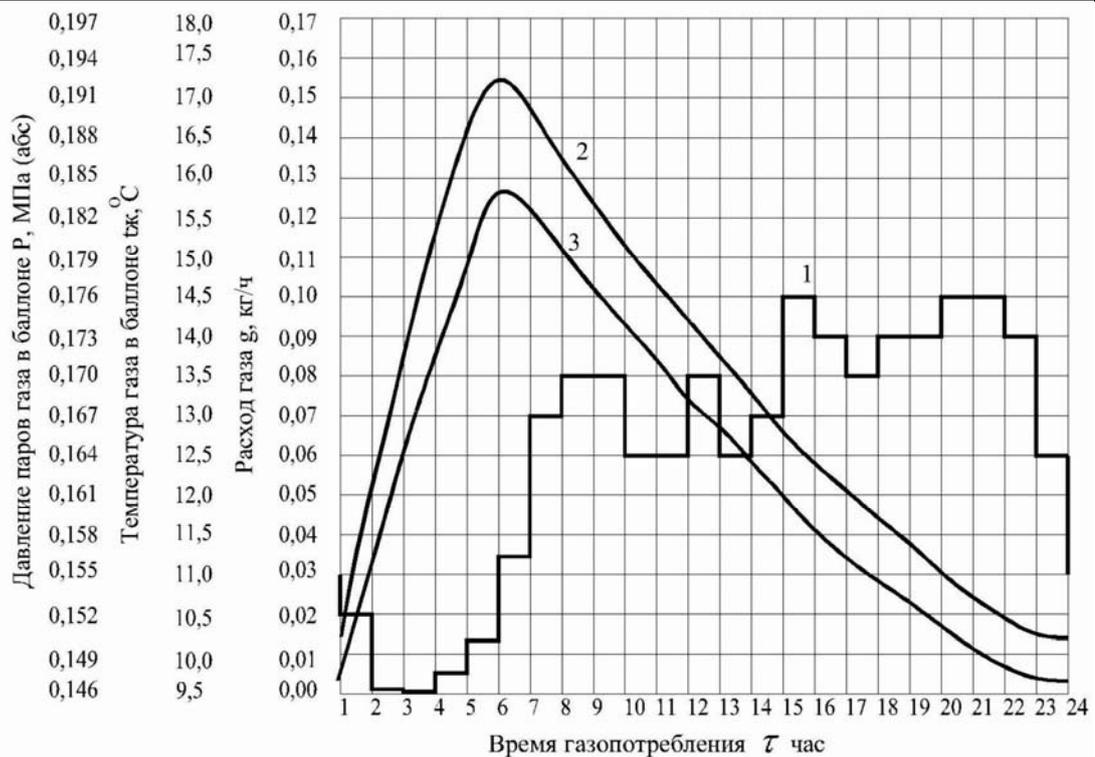


Рис. 4. Характеристика работы баллона при остаточном уровне заполнения 32 % (потребитель газа – газовая 4-конфорочная плита и проточный водонагреватель):
 1 – расход газа g , кг/ч; 2 – температура газа в баллоне $t_{ж}$, °C;
 3 – давление паров газа в баллоне P , МПа (абс)

Аналогичная картина наблюдается при работе газовой плиты и проточного водонагревателя (см. рис. 4). При остаточном уровне заполнения баллона $\varphi_{ост}=32\%$ минимальное давление паров 0,147 МПа (абс) имеет место в ночное время (22÷24 часа) при минимальной температуре СУГ 10,1 °C. В последующие часы температура газа повышается и практически восстанавливается до температуры окружающей среды. Расчёты показали, что остаточный уровень газа в баллоне формирует резервный запас газа у потребителя, который обеспечивает работу 4-конфорочной газовой плиты в течение 8 суток, а 4-конфорочной плиты и водонагревателя в течение 7 суток в случае несвоевременного обмена баллонов персоналом газовой службы.

Рабочий запас газа у потребителя $\tau_{раб}$, сут, определяется по формуле

$$\tau_{раб} = \frac{(\varphi_n - \varphi_{ост}) \cdot \rho_{см} \cdot V}{g_{ср}^{сут}}, \quad (8)$$

где φ_n – начальный уровень заполнения баллона сжиженным газом; в соответствии с требованиями безопасности в газовом хозяйстве принимается равным 85 % его объема; $\varphi_{ост}$ – остаточный уровень газа в баллоне; $\rho_{см}$ – плотность жидкой фазы СУГ в баллоне, кг/м³. Определяется расчетом в зависимости от компонентного состава жидкой фазы СУГ при остаточном уровне газа в баллоне; V – полная емкость баллона, м³; $g_{ср}^{сут}$ – среднесуточное потребление газа, кг/сут,

$$g_{ср}^{сут} = \frac{g_{max}^{сут}}{k_{сут}}; \quad (9)$$

здесь $g_{max}^{сут}$ – максимальный суточный расход газа, кг/сут, определяется по формуле (7); $k_{сут}$ – коэффициент суточной неравномерности потребления газа. При работе газовой

плиты $k_{сут} = 1,2$; при работе газовой плиты и проточного водонагревателя $k_{сут} = 1,25$ [6].

Как показывают расчеты при использовании в качестве источника газоснабжения баллона емкостью 50 литров запас газа обуславливает работу газовой плиты с максимальной обеспеченностью газопотребления в течение 22 суток, а плиты и проточного водонагревателя в течение 12 суток.

Остаточный уровень газа в баллоне $\varphi_{ост}$ создает резервный запас газа у потребителя на случай несвоевременной доставки баллонов по погодным, дорожным и другим причинам организационного и технического характера.

Указанный запас газа обеспечивает работу газовой плиты в течение 8 суток, а плиты и водонагревателя в течение 7 суток, что соответствует нормативным требованиям [8]. При этом газобаллонная установка, хотя и не гарантирует необходимую часовую паропроизводительность, все же покрывает суточную потребность в газе, то есть обеспечивает минимальный уровень газопотребления.

ВЫВОДЫ

1. Применение наружных газобаллонных установок рекомендуется только при газификации объектов временного (сезонного) функционирования при положительных температурах окружающей среды.

2. Установка баллонов емкостью 50 литров внутри отапливаемых помещений и их эксплуатация при положительных температурах окружающего воздуха ($+10$ °С и выше) обуславливают работу 4-конфорочной газовой плиты с максимальной обеспеченностью газопотребления в течение 22 суток, а 4-конфорочной плиты и проточного водонагревателя в течение 12 суток.

3. Для поддержания максимальной обеспеченности газопотребления остаточный уровень сжиженного газа в баллоне при установке у потребителя 4-конфорочной газовой плиты должен быть не менее 24 %, 4-конфорочной газовой плиты и проточного водонагревателя – 32 %.

4. Остаточный уровень газа в баллоне формирует резервный запас газа у потребителя, который обеспечивает работу 4-конфорочной газовой плиты в течение 8 суток, а 4-конфорочной плиты и водонагревателя в течение 7 суток в случае несвоевременного обмена баллонов персоналом газовой службы.

Список литературы

1. ГОСТ Р 52087–2003. Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия. – Введ. 2004-07-01. – М.: ГОССТАНДАРТ России, 2006. – 12 с.
2. Иванова, Е.В. Децентрализованные системы снабжения сжиженным газом на базе индивидуальных газобаллонных установок / Е.В. Иванов // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения. – Саратов, 2005. – С. 167–174.
3. Осипова, Н.Н. Децентрализованные системы снабжения сжиженным газом от индивидуальных газобаллонных установок / Н.Н. Осипова, Б.Н. Курицын, Е.В. Иванова // Научно-технический журнал: Строительная инженерия. – М.: ЗАО «Акцион-Медиа», 2006. – №6. – С. 48–52.
4. Курицын Б.Н. Моделирование теплообмена при хранении сжиженного газа в подземных резервуарных установках под воздействием естественных температур грунта и наружного воздуха / Б.Н. Курицын, Н.Н. Осипова, С.А. Максимов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2012. – Вып.2 (26). – С. 35 – 46.
5. Свод правил «Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002. С изменением 1»: СП 62.13330.2011*. – Введ. 2011-05-20. – М.: Минрегион России, 2010. – 30 с.

References

1. GOST R 52087–2003. Gases hydrocarbon liquefied fuel. Specifications. – Enter. 2004-07-01. – M.: GOSSTANDART of Russia, 2006. – 12 p.
2. Ivanova, E.V. Decentralized supply systems for liquefied gas based on individual gas-cylinder units / E.V. Ivanov // Scientific and technical problems of improvement and development of gas supply systems. – Saratov, 2005. – P. 167–174.
3. Osipova, N.N. Decentralized supply systems liquefied from individual gas-cylinder units / N.N. Osipova, B.N. Kuritsyn, E.V. Ivanova // Scientific and technical journal: Building Engineering. – M.: ZAO Aktion-Media, 2006. – №6. – P. 48-52.
4. Kuritsyn B.N. Modeling of heat transfer in the storage of liquefied gas in underground reservoir installations under the influence of natural temperatures of soil and outdoor air / B.N. Kuritsyn, N.N. Osipova, S.A. Maksimov // Scientific herald of the Voronezh State Architectural and Construction University. Ser. Construction and architecture. – 2012. – Issue 2 (26). – P. 35–46.
5. Code of Regulations «Gas distribution systems. Actualized revision of SNiP 42-01-2002. With the change of 1»: SP 62.13330.2011 *. – Enter 2011-05-20. – M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2010. – 30 p.

УДК 628.16

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

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: koshev@pguas.ru

Шеин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Механика»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Салмин Сергей Михайлович,
кандидат технических наук, старший
преподаватель кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
E-mail: voda@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

Grishin Boris Mikhailovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Koshev Alexander Nikolaevich,
Doctor of Chemistry Science, Professor of the
department «Information and computing
systems»
E-mail: koshev@pguas.ru

Shein Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the Department «Mechanics»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Salmin Sergey Mikhailovich,
Candidate of Sciences, Senior Teacher of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: voda@pguas.ru

ЗЕРНИСТЫЕ ФИЛЬТРЫ С НАМЫВНЫМ СЛОЕМ СОРБЕНТА ДЛЯ ДООЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Б.М. Гришин, А.Н. Кошев, А.И. Шеин, С.М. Салмин

Приведены результаты лабораторных исследований работы зернистого фильтра с намывным слоем порошкообразного активированного угля (ПАУ) в процессе глубокой очистки производственных сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ. Даны рекомендации по режиму работы фильтра и дозам ПАУ, обеспечивающим требуемую степень изъятия загрязнений из сточных вод, позволяющую использовать их в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Ключевые слова: нефтесодержащие сточные воды, глубокая очистка, намывные фильтры, сорбент, порошкообразный активный уголь

GRANULAR FILTERS WITH SORBENT PRECOAT LAYER FOR PURIFICATION OF OILY WASTE WATER

B.M. Grishin, A.N. Kochev, A.I. Shein, S.M. Salmin

The results of laboratory studies of the granular filter with a bulk layer of powdered activated carbon (PAH) in the process of deep purification of industrial waste water from oil and suspended solids are presented. Recommendations on the mode of operation of the filter and the dose of PAH, providing the desired degree of removal of contaminants from waste-water for use in the systems of industrial circulating water supply.

Keywords: oily waste water, deep cleaning, soapy filters, sorbent, powdered active coal

Одним из наиболее распространенных методов очистки промышленных нефтесодержащих стоков является метод флотации с использованием различных реагентов [1, 2]. Однако флотационные установки не могут обеспечить достаточный эффект очистки по взвешенным веществам и нефтепродуктам для того, чтобы сточные воды после локальных заводских очистных сооружений могли быть использованы для систем оборотного водоснабжения. Поэтому после флотаторов необходима доочистка воды на сорбционных фильтрах различных конструкций.

В связи с этим значительный интерес представляют исследования зернистых фильтров с намывным слоем сорбента, позволяющих одновременно удалять из воды как взвешенные вещества, так и нефтепродукты.

Принцип работы намывных фильтров состоит в пропускании обрабатываемой сточной воды через слой сорбента, который нанесен (намыт) на зернистую загрузку (кварцевый песок). При намыве порошкообразного активного угля (ПАУ) в кварцевый фильтр сорбент удерживается в результате прилипания частиц угля к зернам песка. Вследствие неравномерности намыва ПАУ потери напора в зернисто-намывном фильтре приходится в основном на слои, находящиеся первыми по пути движения воды с сорбентом через фильтрующую загрузку, что ухудшает качество промывки данных слоев [3]. Как показали эксперименты, использование гравия в качестве внутреннего каркаса для песчаных фильтров позволяет лучше отмыть частицы верхних слоев песка от загрязнений при промывке фильтра и тем самым увеличить время защитного действия загрузки [4].

Авторами были проведены экспериментальные исследования работы лабораторного зернисто-намывного фильтра для глубокой очистки нефтесодержащих промышленных стоков, установленного в помещении локальных очистных сооружений ОАО «Пенздизельмаш».

Лабораторная установка по исследованию глубокой доочистки нефтесодержащих сточных вод с использованием сорбции (рис. 1) состояла из фильтровальной колонны 1 высотой 2,5 м, приемного 2 и расходного 3 баков, центробежного насоса 4, насоса-дозатора 5 и бака угольной пульпы 6. Фильтр 1 был принят каркасно-засыпным с общей высотой загрузки 1,6 м. В качестве загрузки использовались гравий крупностью 20–40 мм и кварцевый песок крупностью 0,8–1,5 мм. Высота слоя песка составляла 0,9 м.

Вода после флотационной очистки поступала в приемный бак 2, откуда насосом 4 по трубопроводу 7 перекачивалась в расходный бак 3 с постоянным уровнем воды. В трубопровод 9, соединяющий расходный бак 3 и фильтровальную колонну 1, с помощью насоса 5 дозировалась угольная пульпа. В качестве сорбента использовался порошкообразный активированный уголь марки КАД-М. Дозирование угля осуществлялось как периодически (в течение 10–15 мин каждый час), так и постоянно с дозами от 5 до 20 мг/л. Скорость фильтрования по рекомендациям А.Д. Смирнова [3] составляла 1,5–2 м/ч, постоянство скорости поддерживалось за счет работы переливного патрубка 10. Регулирование расхода производилось вентилем, установленным на патрубке отвода фильтрата 11. Промывка фильтра осуществлялась насосом 4 при открытом вентиле на трубопроводе 12.

На лабораторной установке исследовались процессы осветления и сорбции загрязнений при глубокой доочистке промышленных сточных вод на зернисто-намывном фильтре. Программа испытаний предусматривала отбор определенного количества сточной воды, предварительно очищенной на флотационной установке, ее смешение с угольной пульпой в различных дозах и дальнейшее фильтрование через загрузку каркасно-засыпного фильтра. В лабораторных экспериментах решались следующие задачи:

- 1) Определение времени защитного действия фильтра по нефтепродуктам при различных дозах и режимах введения ПАУ в очищаемую воду.
- 2) Определение времени защитного действия фильтра по взвешенным веществам.

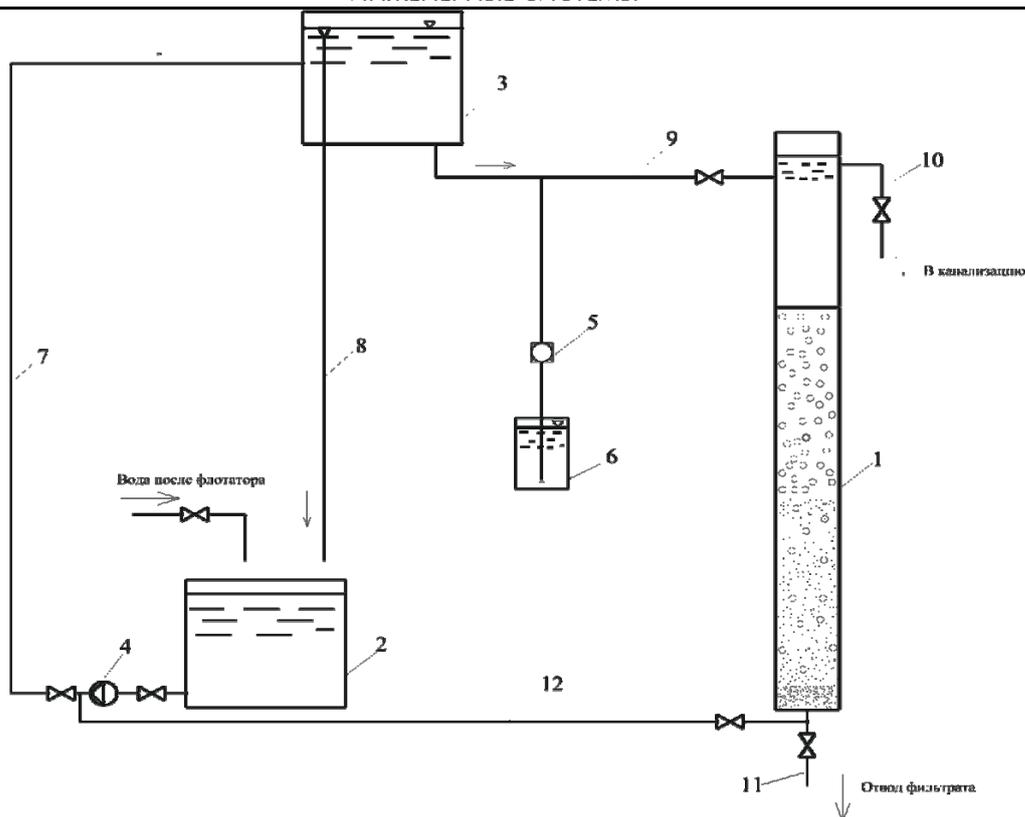


Рис. 1. Схема установки с лабораторным фильтром:

- 1 – фильтровальная колонна; 2 – приемный бак; 3 – расходный бак; 4 – насос;
 5 – насос-дозатор; 6 – бак угольной пульпы; 7 – подающий трубопровод; 8 – переливной
 трубопровод; 9 – трубопровод подачи обработанной воды; 10 – переливной патрубок;
 11 – патрубок отвода фильтрата; 12 – трубопровод подачи промывной воды

При определении времени защитного действия величины пороговых значений концентраций загрязняющих веществ в фильтре принимались равными нормативным для подпиточной воды системы оборотного водоснабжения ОАО «Пенздизельмаш» (по нефтепродуктам – 0,2 мг/л, по взвешенным веществам – до 3 мг/л). Концентрации взвеси и нефтепродуктов в исходной и очищенной воде определялись химическими анализами.

Для определения концентрации взвешенных веществ, а также нефтепродуктов с концентрациями выше 0,5 мг/л использовался гравиметрический метод.

Определение содержания нефтепродуктов в воде после зернисто-намывного фильтра с концентрациями менее 0,5 мг/л проводили люминесцентно-хроматографическим методом.

В процессе экспериментов на фильтр подавалась предварительно очищенная на флотаторе сточная вода с концентрациями нефтепродуктов 2,7-3,1 мг/л и взвешенных веществ 9-12 мг/л. В экспериментах время защитного действия фильтра T_3 по нефтепродуктам определялось от начала фильтрования до момента «проскока» в фильтрате концентраций углеводородов, превышающих 0,2 мг/л, а по взвешенным веществам T_3 фиксировалось до момента превышения концентраций взвеси в фильтрате значения 3 мг/л. Диаграммы зависимостей времени защитного действия фильтра по нефтепродуктам и взвешенным веществам от доз и режимов ввода сорбента показаны на рис. 2 и 3.

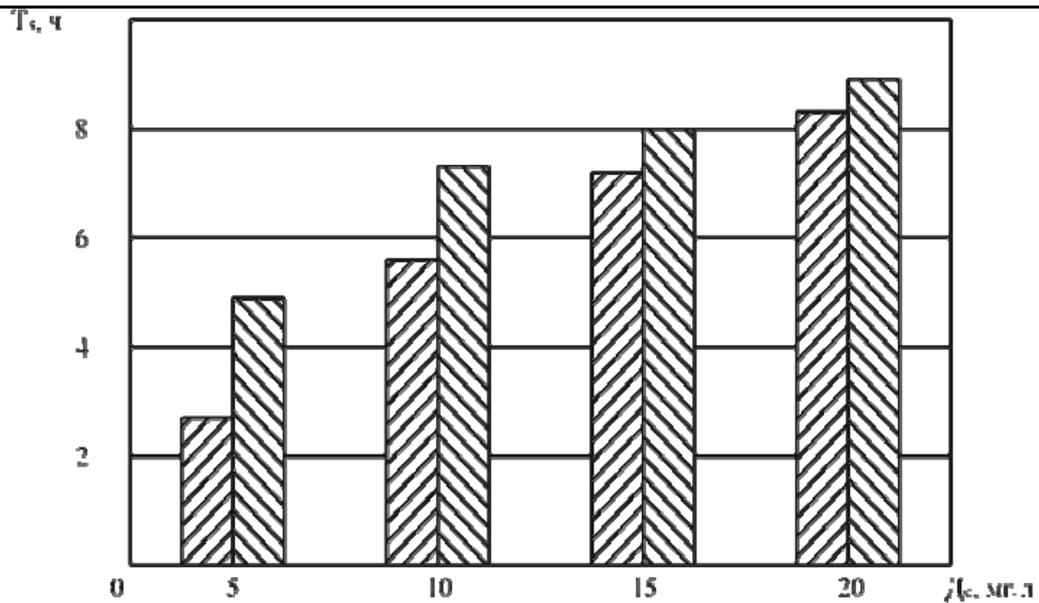


Рис. 2. Диаграммы времени защитного действия фильтра по нефтепродуктам при различных дозах и режимах ввода сорбента:

▨ – периодическое дозирование; ▩ – постоянное дозирование

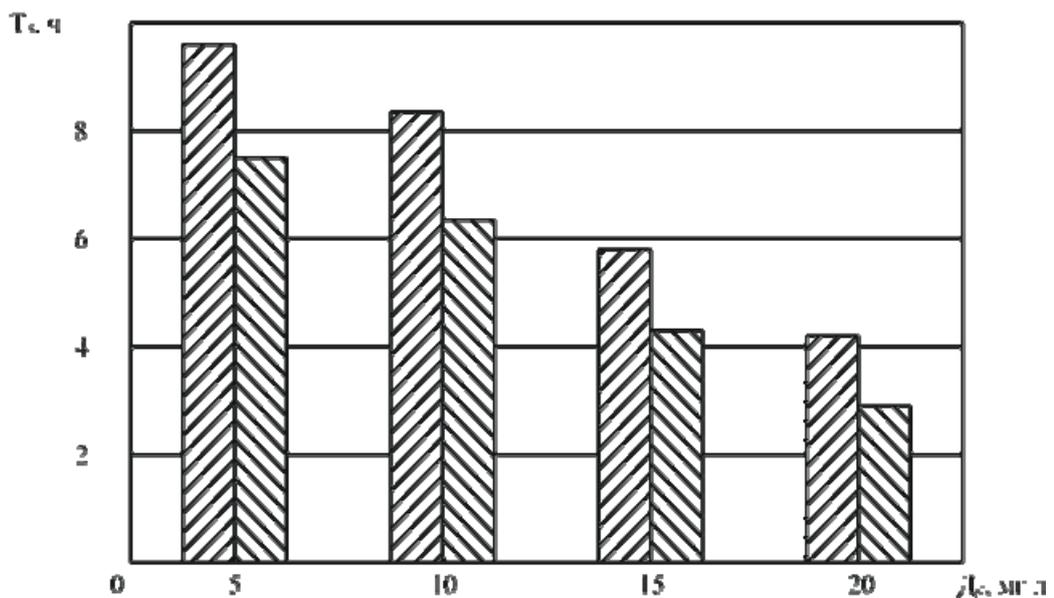


Рис. 3. Диаграммы времени защитного действия фильтра по взвешенным веществам при различных дозах и режимах ввода сорбента:

▨ – периодическое дозирование; ▩ – постоянное дозирование

При доочистке воды от нефтепродуктов время защитного действия фильтрующей загрузки T_z увеличивалось пропорционально дозе вводимого сорбента D_c (см. рис. 2). Величина T_z изменялась от 4,8 ч для $D_c=5$ мг/л до 8,8 ч для $D_c=20$ мг/л при постоянном дозировании активированного угля. В случае периодического дозирования время защитного действия варьировалось от 2,7 ч при $D_c=5$ мг/л до 8,3 ч при $D_c=20$ мг/л. Наиболее значимое увеличение времени защитного действия фильтра (в среднем на 1,5-2 часа) наблюдалось при возрастании дозы сорбента с 5 до 10 мг/л. При увеличении доз сорбента с 10 до 15 мг/л, а также с 15 до 20 мг/л величина T_z в среднем возрастала на 0,8-1 ч. Это может быть объяснено, в частности, более равномерным распределением сорбента в порах фильтрующей загрузки при $D_c=10$ мг/л и, соответственно, более полным использованием сорбционной емкости порошкообразного активированного угля.

В процессе доочистки воды от взвешенных веществ время защитного действия загрузки T_z , в отличие от экспериментов с задержанием нефтепродуктов, уменьшалось с возрастанием доз вводимого сорбента D_c (см. рис. 3), что, очевидно, являлось следствием «проскока» в фильтрат наиболее мелких частиц активированного угля. При постоянном дозировании сорбента величина T_z изменялась от 7,58 ч для $D_c=5$ мг/л до 2,9 ч для $D_c=20$ мг/л. В случае периодического дозирования T_z несколько увеличивалось и изменялось от 9,6 ч при $D_c=5$ мг/л до 4,2 ч при $D_c=20$ мг/л. Наиболее значимое уменьшение времени защитного действия фильтра по взвеси (в среднем 2,2-2,4 часа) наблюдалось с увеличением дозы сорбента с 10 до 15 мг/л как при постоянном, так и при периодическом дозировании.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что наиболее рациональным режимом работы фильтра является такой, при котором обеспечивается приблизительное равенство значений T_z как по нефтепродуктам, так и по взвешенным веществам в целях сокращения расходов промывной воды. Такое условие соблюдается при дозах сорбента $D_c=10-12$ мг/л, обеспечивающих средние значения T_z на уровне 6-7 часов. При периодическом снижении в воде после флотатора концентраций нефтепродуктов до 1,0-2 мг/л и взвеси до 10-15 мг/л время защитного действия фильтра может быть увеличено до 8-10 часов. В целях снижения расхода порошкообразного активированного угля рекомендовано периодически вводить его в воду перед фильтром с дозами $D_c=10-12$ мг/л.

ВЫВОДЫ

1. Определены режимы фильтрования и ввода сорбента при глубокой доочистке сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных веществ, обеспечивающие технологически рациональные значения (от 6 до 10 часов) времени защитного действия каркасно-засыпного фильтра.

2. Рекомендовано каждый час (в течение 10-15 мин) вводить порошкообразный активированный уголь марки КАД-М с дозой 10-12 мг/л (при скорости фильтрования через каркасно-засыпную загрузку до 1,5 м/ч).

3. Технологию флотационной очистки промышленных стоков с последующей их доочисткой на каркасно-засыпных фильтрах с применением порошкообразного активированного угля рекомендуется использовать для приготовления подпиточной воды требуемого качества (в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий).

Список литературы

1. Пономарёв, В.Г. Процессы разделения суспензий сточных вод. Конструкции сооружений / В.Г. Пономарёв. – М.: СоюзДизайн. 2014. – 228 с.
2. Гришин, Б.М. Флотационная очистка нефтесодержащих производственных сточных вод / Б.М. Гришин [и др]. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 132 с.
3. Смирнов, А.Д. Сорбционная очистка воды / А.Д. Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
4. Очистка нефтесодержащих сточных вод машиностроительного завода / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, Л.Б. Гришин, Е.А. Савицкий // Региональная архитектура и строительство. – 2009. – №1(6). – С. 42–49.

References

1. Ponomarev, V. G. Processes of waste water suspensions separation. Structures / V. G. Ponomarev. – M.: Soyuzdizayn. 2014. – 228 p.
2. Grishin, B. M. Flotation purification of oil-containing industrial waste waters / B. M. Grishin [et al.]. – Penza: PGWS, 2012. – 132 p.
3. Smimov, A.D. Sorption water purification / A.D. Smimov. – L.: Chemistry, 1982. – 168 p.
4. Purification of oily waste water engineering plant / S. Yu. Andreev, B. M. Grishin, M. V. Bakunova, L. B. Grishin, E. A. Sawicki // Regional architecture and engineering. – 2009. – №1 (6). – P. 42–49.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

УДК 727.03:069

*Московский архитектурный институт
(государственная академия)*

Россия, 107031, Москва, ул. Рождественка,
д. 11/4, корп.1, стр.4,
тел.: (903) 596-28-12,

Хомяков Александр Иванович,
кандидат архитектуры, профессор кафедры
«Архитектура общественных зданий»
E-mail: a.khomyakov@mail.ruoffice@markhi.ru

*Moscow Architectural Institute (State
Academy)*

Russia, 107031, Moscow, 11/4, korpus 1,
building 4, Rozhdestvenka St.,
tel: (903) 596-28-12

Khomyakov Alexander Ivanovich,
Candidate of Architecture, Professor of the
Department «Architecture of Public
Buildings»
E-mail: a.khomyakov@mail.ruoffice@markhi.ru

ЗНАКИ МЕСТА: РЕГИОНАЛЬНЫЕ МЕМОРИАЛЬНО-МУЗЕЙНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

А.И. Хомяков

Рассматривается существующее положение мемориально-музейных комплексов, памятных и знаковых пространств в культурно-познавательной структуре регионального туризма. Ставятся вопросы их системного обновления, дополнения новыми, недостающими архитектурно-пространственными и художественными компонентами, которые принесут в их практику синергетический эффект и расширят тем самым пространство культуры края, раскроют его сущность.

Ключевые слова: память, памятники и мемориалы, культура, познание, архитектура, музеи, доминанты, центры притяжения

SIGNS OF THE SITE: REGIONAL MEMORIAL-MUSEUM COMPLEXES

A.I. Khomyakov

The existing position of memorial and museum complexes, memorable and iconic spaces in the cultural and cognitive structure of regional tourism is considered. The article poses the questions of their system update, additions to new, missing architectural-spatial and artistic components that will bring into their practice a synergetic effect and thereby expand the culture of the region, reveal its essence.

Keywords: memory, monuments and memorials, culture, cognition, architecture, museums, dominants, centers of attraction

Память связана с местом и пространством. Воспоминание всегда привязано к конкретному интерьеру, к участку города: улице, площади, к определённому ландшафту. Безадресного воспоминания не существует [1]. Можно определённо утверждать, что памятные мемориально-музейные и исторически-заповедные комплексы априори являются региональными, т.е. принадлежащими чётко очерченному пространству, своей сферевключения. Исключения составляют лишь мемориалы общенациональные,

такие, как, например, Могила Неизвестного Солдата у стен Кремля в Москве, мемориал Линкольна в Вашингтоне, национальный мемориал холокоста и героизма в Иерусалиме. В целом, с определённой долей условности, можно рассматривать следующую иерархию памятных пространств по статусу: общенациональные (государственного значения), региональные (принадлежащие региону) и местные, маркирующие память локального поселения и вмещающие в себя идентичность региона.

Тот общий интерес, который сегодня вызывает «мемориально-музейный комплекс» (ММК) как тип общественного сооружения, соответствует общемировому запросу на сохранение идентичности и, как следствие, приверженности локализму, альтернативе глобализму. «В условиях глобализации важную роль стала играть региональная идентичность. В современном мире регионализация связана с усилением своеобразия экономического и политического положения территориальных сообществ, их стремления к культурной автономии»[2]. Популярность краеведения и интерес к региональным, местным, как подлинным (аутентичным), так и мифологизированным культурно-историческим достопримечательностям и памятникам, всё больше овладевают массами.

Сегодня отечественные региональные культурно-познавательные программы, их организационное и материальное (инфраструктурное) воплощение не всегда обнаруживают должное соответствие. Тематическая незавершённость и фрагментированность, слабая техническая оснащённость – далеко не полный перечень характерных черт объектов этого ряда.

Надежды на радикальное обновление и повышение эффективности индустрии познавательного и патриотического отечественного туризма сейчас связаны в первую очередь с двумя сформулированными государством целями. Первая цель – развитие въездного и внутреннего туризма в связи с известными событиями 2014 года. Вторая цель – создание туристических познавательных маршрутов для болельщиков и спортсменов футбольного чемпионата 2018 года. Если достижение первой растянулось на годы и охватило значительное число масштабных мероприятий, то для достижения второй цели отводится время, ограниченное сроками мундиала. В обеих программах делается ставка на государственное финансирование, но совершенно игнорируются более совершенные и актуальные стратегии, как, например, принятая сегодня в мире доктрина «культурных инициатив».

Вопросами возрождения отечественных регионов средствами осуществления культурных проектов и инициатив, туристических и познавательных, занимались такие крупные учёные-урбанисты, как Глазычев В.Л., Высоковский А.А. Разработка этих стратегий с использованием результатов социологических опросов, «интеллектуальных игр», с участием местных сообществ выявляла почти повсеместную неготовность и преждевременность (за редкими исключениями) реализации многих заявленных администрацией планов. Причины – изолированность, закрытость отечественной культурной жизни, консерватизм культурной сферы, фактическое отсутствие местного самоуправления, слабые бюджеты и т.д. [3, 4].

Иная картина складывалась последние десятилетия в европейских странах и на американском континенте, где «возрождение посредством культуры» («culture-led regeneration») стимулировало беспрецедентную волну социального и урбанистического развития во многих европейских, в частности британских, городах. Так, британский учёный Дж. Викери выделяет четыре проявления такой политики: 1) «флагманские» культурные сооружения (наиболее значимые новые общественные сооружения); 2) выявление знаковых для данной местности достопримечательностей и реализация социальных, художественных проектов, связанных с ними; 3) инновационные структурные проекты (мосты, крытые прогулочные зоны); 4) наконец, уникальные представления, события и фестивали [4].

В Российской Федерации стратегия «возрождения посредством культуры» в силу названных обстоятельств востребована далеко не в полном объёме. Тем не менее, в существующем, далёком от совершенства виде, отечественная туристическая индустрия более или менее продуктивно работает даже в тех регионах России, которые не

отличаются богатой событийной или духовной историей. Там же, где есть, что показать путешественнику (Ленинградская, Воронежская, Калужская области, Крым и многие другие места), она является ресурсом пополнения бюджетов всех уровней. Этот эффект – результат понимания администрациями регионов необходимости развития туристического рынка в свете появления сегодняшних запросов и вызовов. Отчасти этому процессу способствует действующая сегодня бюджетная доктрина Минкульта РФ, настаивающая на том, что все субсидии на социокультурную сферу должны быть окупаемыми (эффект «возратности»).

Любой регион страны старается интенсивно демонстрировать туристам свои наиболее яркие аутентичные достопримечательности, тем самым выдерживая режим «возврата» бюджетных средств государству, что-то добавляя в свой «банк развития».

В сложившихся условиях вынужденного «переходного» периода – авральное регулирование туристической отечественной практики – полезно обратиться к теоретической стороне вопроса – какие же преобразования региональных культурно-познавательных программ наиболее желательны и ожидаемы в будущем? Как соединить существующие звенья системы «культурного познания» региона в цельные, слитные и синергетические структуры? И главное – какими новыми, недостающими компонентами система должна быть дополнена?

Необходимые для такого анализа данные были получены автором при изучении на экспертном и проектном уровнях опыта культурно-познавательных систем ряда сопоставимых по величине регионов Российской Федерации, в частности Воронежской области и Крыма.

Начинать рассмотрение этих систем следует с общей оценки культурного потенциала регионов, и их положения на карте страны, т.е. с тех обстоятельств, которые отличаются и большей устойчивостью, и большим «весом». Так, области северо-западной и центральной России характеризуются, помимо сосредоточения множества общенациональных ценностей и достопримечательностей, наличием крупных мемориально-музейных комплексов, посвящённых ВОВ. Регионам Поволжья свойственны историко-литературные, ремесленные и этнографические заповедные пространства, места религиозного паломничества. Сибирские и дальневосточные регионы обладают в большей степени и этнографическим, и природным ресурсом. Кавказский регион предлагает уникальное соединение историко-культурного, этнографического и природного материала и т.д.

При этом даже самый предварительный обзор существующих ресурсов – исторических, религиозных, памятных и иных, наделяемых краеведами статусом «достопримечательностей», – обнаруживает, с одной стороны, неисчерпаемость этого массива, а с другой – отсутствие системных представлений, неясность общей картины социокультурного пространства того или иного региона РФ. Этот вопрос, однако, не входит в границы данного исследования, т.к. принадлежит компетенции культурологов и искусствоведов, т.е. других участников туристической индустрии.

Задача архитектора заключается в органичном включении, встраивании в массив существующих подлинных малоизученных социокультурных и познавательных объектов регионов интегрирующих, связывающих и дополняющих компонентов, создающих в итоге одну систему, некую единую и яркую целостность. Мемориально-музейные комплексы в этой системе доминируют как некие «маяки», «локомотивы», «магниты» туристической привлекательности. От их идейного, смыслового значения, архитектурного воздействия на зрителя и внутренней функциональной согласованности во многом зависит эффективность туристической индустрии региона. Гипотетический «иконический» ММК придаст тематическое позиционирование общей туристической картине страны, его архитектура явится визитной карточкой края, культурно-исследовательская деятельность (при эффективной организации) будет играть активную и осмысленную роль в жизни местных сообществ [6].

В последние десятилетия новые ММК значительно, как содержательно, так и образно, изменились по сравнению с их традиционными предшественниками. Современный мемориально-музейный комплекс проектируется и строится по неким

новым, до настоящего момента не сформулированным принципам. На смену неопределённым, эклектичным и брутальным формам пришли концептуальные и поэтические решения. Декор сменили фактуры материалов и конструктивные детали. Вместо многословных композиций из бронзы и камня, пространственных текстов появились скупые надписи, даты произошедших здесь событий и текстовые «посвящения». Недавно построенные как за рубежом, так и у нас в стране крупные и камерные мемориальные комплексы заставляют по-новому взглянуть на этот многомерный сплав объёмов и пространств, ландшафтов, зданий и скульптур.

ПОВОД ПОСВЯЩЕНИЯ

Кардинально важным в планах создания такого памятника-«магнита» является определение его тематической направленности, выбор события или героя, которому он будет посвящён, кого и как он будет прославлять. Это может оказаться проблематичной постановкой задачи – не каждый регион богат историческими личностями и великими памятными событиями, чаще – событиями знаменательными, но до времени не распознанными. Впрочем, в практике создания мемориалов и памятников, претендующих на роль флагманов региональной туристической индустрии, известны случаи не формального, но успешного решения подобных задач.

Так, например, в СССР пользовался широкой известностью мемориальный заповедник, посвящённый книге В.И. Ленина «Развитие капитализма в России», написанной им в с. Шушенском. Но показательно, что именно на содержании этого труда, раскрытии его сюжетной линии, сконцентрирована главная идея мемориала. «Вот изба зажиточного крестьянина, вот острог, вот сельская лавка, вот – с бочонком и полуштофами кабак, а вот изба бедняка: над люлькой подвешена жутковатая самопальная погремушка из скотского мочевого пузыря, куда засыпан сухой горох» [7].

Заслуживает интерес не менее показательное строительство в Южно-Африканской Республике (г. Паарл, 1975 г.) необычного мемориала – монумента языку африкаанс. Поводом послужило 50-летие его официального признания государственным языком ЮАР, отдельным от голландского. Создание мемориала стало выражением гордости за государственный язык, принадлежащий исключительно южно-африканскому народу [8]. Архитектурно эти чувства переданы монументальными лаконичными архитектурными формами, отдалённо напоминающими экзотические африканские ландшафты и бивни слонов.

По мнению отдельных исследователей, избрание факта истории, пусть даже памятного и знаменательного, в качестве повода создания мемориала не является гарантией его успеха. Так, Н.Е. Прянишников утверждает: «... в формировании брендов российских городов и регионов существует определённая проблема – у нас их ищут, как правило, в истории. Бренд же – это не то, чем город был обременён в прошлом, а то будущее, на которое он нацелен, которое принимает за идеал» [9].

ОБРАЗ

Отсутствие яркой темы, исторического памятного события или «героя», выдающейся исторической личности («иконы» региона) в роли повода для создания мемориала может возмещаться выразительностью и уникальностью архитектурного образа. В искусствоведческих исследованиях возникла тема «эффекта Бильбао», связанная с созданием музея современного искусства в г. Бильбао (Испания) архитектором Ф. Гери. Музей в силу нетривиальности проектного решения стал визитной карточкой города, магнитом туристической общевропейского уровня. «Посещаемость нового музея, города и страны басков на первых порах зашкаливала, в урбанистической и музейной практике появилось выражение «эффект Бильбао». Архитекторы, директора музеев современного искусства и мэры разных городов мира вдруг стали соревноваться в разработке технологий чудесного эффекта» [10].

Подчас даже курьёзные, но одиозные по формам и размерам вновь созданные или популяризируемые объекты способны придать удалённым от активных городских центров местам статус туристических магнитов. Примером тому является созданная в 1998 году статуя «Ангел Севера» (г. Гейтсхейд, Англия). 20-метровая в высоту, с размахом крыльев 54 метра, она установлена на холме и возвышается над двумя

магистральными дорогами. Ангел Севера в силу своего непривычного образа вызвал большие споры среди местных жителей и британских газет, но сейчас рассматривается как несомненная достопримечательность северо-восточной Англии.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГОРОД И РЕГИОН

Сегодня крупные музеи и культурные учреждения стремятся к активному продуктивному контакту с социальным контекстом. Фонды и мемориалы, музеи и художественные институции имеют все возможности для того, чтобы играть активную и осмысленную роль в жизни местных сообществ, и эти возможности активно используются. Они перенимают и творчески развивают в своих системных подразделениях архивные, исследовательские, образовательные, кураторские и многие другие функции, в общем смысловом и формальном выражении приближаясь к значению некоего «городского форума».

Если изучить информационные сайты таких известных отечественных мемориально-музейных комплексов и исторических заповедников, как «Горки Ленинские» (Подмосковье), «Прохоровское поле» (Белгород), «35-я береговая батарея» (Севастополь) и многих других, то можно увидеть спектр разнообразных предложений для всех категорий групп местных посетителей и туристов. Диапазон обычно представлен мероприятиями различных жанров – от зрелищно-развлекательных, спортивных и состязательных игр, квестов до проведения закрытых научных и политических симпозиумов и семинаров.

Так, музей-усадьба «Ясная Поляна» заявил проект по созданию банка эскизных предложений по реставрации и приспособлению памятников в г. Крапивне и регенерации его исторической среды. Музей-заповедник А.С. Пушкина «Михайловское» посчитал актуальным проект по возрождению фольклорной среды Псковской области. Можно привести и другие многочисленные примеры подобных культурных проектов.

Помимо привлечения и аккумуляции информации, сбора и хранения исторических экспонатов и документов, разработки исследований такие мемориальные центры являются местом сбора частных добровольных пожертвований и инвестиций, не только регионального, но нередко и мирового масштаба. Это позволяет им проводить мероприятия благотворительного, меценатского и подвижнического характера непосредственно в отношении уже своего края или города. Нередко именно на средства таких институтов проводятся многие важные культурные и общественные акции.

Как же должна выглядеть модель культурно-познавательной системы отечественного региона в свете вышесказанного? По мнению автора, в концептуальном виде она должна являть нечто целостное, некий «контрапункт», то есть работать по принципу «гармоничного многоголосья». Прежде всего, требуется достаточно полный набор составных элементов – от главной точки – центра или центров притяжения, головных объектов, несущих в себе весомые и консолидирующие послания, до периферийных, камерных площадок, демонстрирующих уникальные, аутентичные ландшафты (бельведеры, места отдыха вдоль магистралей и др.). Между центральными, главными и удалёнными компонентами должна находиться «повествовательная часть». Её наполнение – бесконечное число исторических, краеведческих, церковных, паломнических природных, художественных и многих других больших и малых музеев, достопримечательностей и памятников, формирующих культурный каркас региона.

Помимо обязательных для любых видов туризма «магнитов», главных объектов посещения, в эту систему входят места размещения и предприятия общественного питания, выставочные залы, экскурсионные бюро, туристско-информационные центры, система навигации (например цифровые стенды, показывающие расположение туристических объектов в границах отдельного ансамбля и населенного пункта), кольцевые автобусные туристские маршруты, пункты проката (сегвеев, велосипедов, конных повозок, лодок и т.п.). Транспортная система культурно-познавательных маршрутов должна быть тесно связана с транспортными узлами региона.

Подход к реализации такой политики в российских регионах надо начинать с безотлагательной гуманизации отношения к существующим историческим памятникам, мемориалам, историческим усадьбам, остаткам фортификационных сооруже-

ний, руинам, следам доисторических поселений и культов, их сопряжению и взаимному сочетанию, дающему синергетический эффект, эффект постоянного расширения пространства культуры края, раскрытия его локальной, неповторимой сущности.

Список литературы

1. Cordes M: Landschaft-Erinnern: Uber das Gedachtnisim Erinnern von Orten/ Hamburg, Junius. 2010. – 230 p.
2. Скрипкина, Л. Краеведение, регионоведение, локальная история / Л. Скрипкина // Музей. – 2015. – № 4. – С. 14–16.
3. Глазычев, В.Л. Глубинная Россия 2000–2002 / В.Л. Глазычев. – М.: Новое издательство, 2005. – URL: <http://romanbook.ru/book/8711147/?page=3>
4. Высоковский, А.А. Городские реформы в трёх томах. Том 1. Theory / А.А. Высоковский. – М.: GreyMatter, 2015. – 432 с.
5. Викери, Дж. Возрождение городских пространств посредством культурных проектов – синтез социальной, культурной и городской политики / Дж. Викери // Визуальная антропология: городские карты памяти. – М.: ООО Вариант, ЦСПГИ, 2009. – 312 с.
6. Хаурт, Дж. Культура участия: музей как форум для диалога и сотрудничества / Дж. Хаурт; ред.-сост. Д. Агапова // Культура участия: музей как пространство диалога и сотрудничества. – СПб., 2015. – С. 58–81.
7. Данилкин, Л. Ленин. Пантократор солнечных пылинок / Л. Данилкин. – М.: Молодая гвардия, 2017. – 784 с. – С. 141.
8. Прянишников, Н.Е. От брендов к магнетизму в сфере туризма / Н.Е. Прянишников // Музей. – 2013. – № 10. – С. 13–15.
9. Монумент африканс (в электронном ресурсе). – URL: <https://www.rutraveller.ru/place/95479>
10. Аввакумов, Ю. Архитектура для искусства / Ю. Аввакумов // Синий диван. – 2016. – № 21. – С. 246–257.

References

1. Cordes M: Landschaft-Erinnern: Uber das GedachtnisimErinnern von Orten/ Hamburg, Junius. 2010. – 230 s.
2. Skripkina, L. Regional studies, lokalhistory / L. Skripkina // Museum. – 2015. – No. 4. – P. 14–16.
3. Glazychev, V.L. Local Russia 2000-2002 / V.L. Glazychev. – M.: New publishing house, 2005. – URL: <http://romanbook.ru/book/8711147/?page=3>
4. Vysokovsky, A.A. City reforms in three volumes. Vol. 1. Teagu / A.A. Vysokovsky. – M.: GreyMatter, 2015. – 432 p.
5. Vickery, John. Revival of urban spaces through cultural projects-synthesis of social, cultural and urban policy/ John. Vickery // Visual anthropology: urban memory cards. – M.: ООО Variant, CSPI, 2009. – 312 p.
6. Haworth, John. Culture of participation: Museum as a forum for dialogue and cooperation / John. Haworth; ed. - comp. D. Agapova // Culture of participation: Museum as a space of dialogue and cooperation. – SPb., 2015. – P. 58–81.
7. Danilkin, L. Lenin. Pantokrator of solar particles / L. Danilkin. – M.: Young guard, 2017. – 784 p. – P. 141.
8. Pryanishnikov, N.E. From brands to magnetism in tourism / N.E. Pryanishnikov // Museum. – 2013. – № 10. – P. 13–15.
9. Monument Afrikaans (electronic resource). – URL: <https://www.rutraveller.ru/place/95479>
10. Avvakumov, Y. Architecture for art / Y. Avvakumov // Blue couch. – 2016. – № 21. – P. 246–257.

УДК 711.01/.09

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева

Россия, 430010, Республика Мордовия,
Саранск, ул. Ворошилова, д. 4

Махаев Виктор Борисович,
кандидат искусствоведения, доцент,
профессор, советник РААСН, член
Национального комитета ИКОМОС,
зав. кафедрой «Архитектура и дизайн»
E-mail: haus_maler@mail.ru

National Research Mordovian State University
named after N.P. Ogarev

Russia 430010, Saransk,
Republic of Mordovia, 4., Voroshilov St.

Makhaev Viktor Borisovich,
Associate Professor, Professor, Advisor of
Russian Academy of Architecture and
construction Sciences, Member of the
National Committee of ICOMOS, Head of the
department «Architecture and design»
E-mail: haus_maler@mail.ru

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ г.ТЕМНИКОВА

В.Б. Махаев

Город Темников – малый исторический город, бывший уездный центр Тамбовской губернии, в настоящее время районный центр Республики Мордовия. Рассмотрены периоды эволюции города: пограничная крепость XVI–XVII веков, квартальная реконструкция начала XIX века, застройка конца XIX – начала XX века. Делается вывод о ценности планировки исторической части города, о возможности восстановления Соборной площади.

Ключевые слова: русский город, деревянная крепость, квартальная планировка, соборная площадь, Темников

THE EVOLUTION OF THE CITY OF TEMNIKOV

V.B. Makhaev

The town of Temnikov is a small historic town, former a county center of the Tambov Gubernia, now is a district center of the Republic of Mordovia. This article discusses the evolution periods: a frontier fortress at the XVI-XVII centuries, the reconstruction of the beginning of the XIX century, of the construction end of the XIX-early of the XX centuries. The values of the layout of the historical part of the city, on the possibility of restoring the Cathedral square is presented.

Keywords: russian wooden fortress city, quarterly plan, Cathedral Square, Temnikov

В последние десятилетия в системе расселения России малые города утратили свое значение, многие из них в демографическом и экономическом отношении деградировали. Большую проблему представляют бывшие уездные города, имеющие ценные памятники истории и архитектуры, но теряющие свое культурное наследие. К ним относится и город Темников, архитектурная история которого до сих пор не написана. Темников является одним из старейших в мордовском крае. Основанный до XVI в., он был русской крепостью на засечной черте, уездным городом Тамбовской губернии, в настоящее время это районный центр Республики Мордовия.

Ранние работы по истории Темникова были написаны тамбовскими исследователями, которые опирались на архивные источники и бытовавшие в городе устные предания. В 1861 г. вышло историко-статистическое описание Тамбовской епархии В. Хитрова, который уделил внимание Темникову [1]. В 1876 г. было опубликовано первое монографическое исследование города Темникова, принадлежащее И.С. Рейтарову [2]. Сакральная топография Темникова была обрисована в Темниковской десятине, архивных документах XVII–XVIII вв., прокомментированных в 1890 г. В. и Г. Холмогоровыми [3]. В 1903 г. вышел сборник Тамбовской губернской комиссии, где

упоминается Темников [4]. В 1911 г. было опубликовано описание Тамбовской епархии А.Е. Андриевского, где описываются храмы Темникова [5].

В XX в. Темниковым занимались преимущественно краеведы Мордовии: в трудах И.Д. Воронина [6], А.А. Чернухина [7] и С.Б. Бахмутова [8] дается описание уездного города и его главных объектов. Попытка пространственного анализа Темникова XVI–XVII вв. была проделана саранским историком А.Г. Нечаевым, который предложил новую убедительную версию размещения крепости [9]. Архитектура города и его храмов была описана нами в серии публикаций [10].

В качестве метода данного исследования применяется комплексный градостроительный анализ эволюции малого исторического города (особенности природного ландшафта, функционального использования территории, пространственной композиции).

Архитектурная специфика Темникова обусловлена своеобразием местного ландшафта и особенностями исторической эволюции. В XVI–XVII вв., когда Среднее Поволжье называлось русскими людьми Понизовьем, Московское государство прокладывало здесь пограничные линии – засечные черты проводились в три этапа. После победы Московского государства в войне с Казанским и Астраханским ханствами в 1550-е гг. начинается создание первой засечной черты – от Тулы через Рязань к Тетюшам на Волге. В 1570–80-е гг. она прошла по территории мордовского края, где в середине XVI в. на черте и вне ее были построены крепости Кадом, Наровчат (1520), Васильсурск (1523), Алатырь (1525), Мокшан (1535), Елатьма (1538), Арзамас (1578), Троицк (1570–80-е). В 1536 г. на этой черте была построена крепость в Темникове. В 1638–53 гг. создается следующая засечная черта – от Белгорода до Симбирска, в 1670–80-е гг. черта прошла от Верхнего Ломова через Пензу к Сызрани на Волге. В результате смещения границы на юго-восток Темников оказался в глубине хорошо защищенной территории и в конце XVII в. его оборонительные функции завершились.

Существует обоснованное мнение, что Темников до начала XVI в. являлся татарской крепостью, выстроенной на правом западном берегу р. Мокши для защиты междуречья Мокши и Суры от экспансии Русского государства (ныне это территория села Старый Город). Став русской крепостью, Темников был перенесен на противоположный берег Мокши, который с 1530-х гг. стал контролироваться Русским государством. Некоторые исследователи считают, что в XVI в. Темников мог быть центром автономного княжества в составе Московского государства. Итак, в 1536 г. крепость перемещается на 8 км выше по течению реки. Такие перемещения не являлись чрезвычайными в русском градостроительстве и объясняются, кроме военно-политической причины, либо техническими ошибками в выборе места, либо уничтожением города в период военных действий; в более позднее время меняли первоначальное место Саратов, Царицын, Оренбург и др.

Первая зафиксированная документами градостроительная структура Темникова – второй половины XVI–XVII вв., структура «крепость – торг – посад» – является типом полукруглого города. Деревянная крепость в форме трапеции с размером стен 86×65×127×78 м (или 40×29×59×36 сажень), с пятью башнями по периметру была построена в 430 м (или 200 сажнях) от р. Мокши на высоком холме северо-западнее глубокого оврага Самбег [11]. Посад с 6 защищенными слободами располагался к востоку и северу от крепости, в соответствии с рельефом он получил ветвистую планировку (улицы начинались от крепостных ворот, петляли по изрезанному микрорельефу, от улиц отделялись проулки в форме ветвей, главные улицы выходили на загородные дороги – на Арзамас, Кадом, Красную Слободу). В конце XVII в. крепость сильно обветшала, в начале XVIII в. она была снесена, и городской центр переместился по склону южнее – к устью оврага Самбег, туда, где в 1628 г. была построена деревянная соборная Спасо-Преображенская церковь. Центр города оказался севернее чаши-котловины, к этому времени были застроены две верхние террасы, разделенные оврагом, позднее начинается строительство в нижней части города. В целом план города строился как полукруг с изломанными по микрорельефу улицами. В 1678 г. в городе насчитывалось 168 посадских дворов.

Темников XVII – начала XVIII в. сравним с г. Бежецком того периода: последний расположен на р. Молога, в его центре – овраг с ручьем, перпендикулярный реке, здесь в XII в. была заложена крепость, основан торг; к началу XVIII в. восточная и северная слободы приобрели подобие радиально-кольцевой системы.

При анализе пространственной организации населенных пунктов прошлых веков необходимо реконструировать исторический природный ландшафт. В русском градостроительстве XVII в. были выработаны главные принципы ландшафтной организации поселений лесостепного региона, развитые в XVIII – начале XIX в., которые не потеряли своей актуальности и в XXI в. В Темникове для строительства крепости была выбрана надпойменная терраса, защищенная крутыми склонами, оврагами, озерами и руслами рек (аналогично было сделано в Краснослободске и Саранске). При расширении городов застройка спускается на большие нижние террасы. Всхолмленный и слаборасчлененный характер рельефа позволял застраивать обширные территории – развивать город во всех направлениях; для всех городов мордовского края характерно свободное пространственное развитие. Исключение составляет Темников с его более сложной геоморфологией центральной части. Можно выделить два типа ландшафтной организации этих городов: крепость на мысовом холме, на его пологих склонах – селитьба (таким стал Темников в XVI–XVII вв.); селитьба спускается в чашу, устье оврага, ориентированного к реке (таким стал Темников в последующие века).

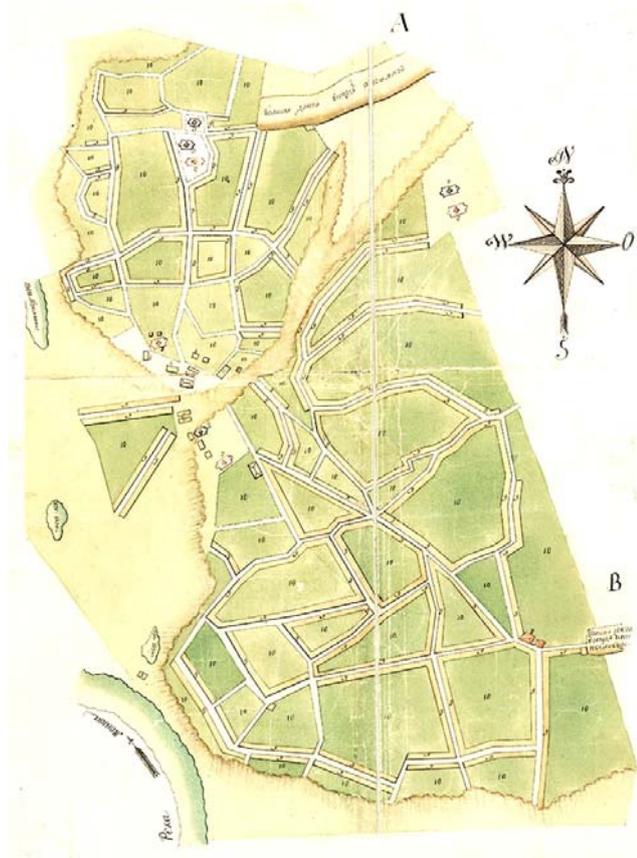


Рис. 1. Фиксационный план города Темникова, 1782 г.

Крепости междуречья Средней Волги и Оки начали медленную трансформацию в сторону полноценных городов только в самом конце XVIII в., и это было связано с рядом причин. В начале XVIII в. новые тенденции в значительной степени проявились в строительстве столицы, в последующие десятилетия – в создании новых городов, в то время как большое количество старых населенных пунктов не претерпело изменений и деградировало до конца XVIII в. Из городов-крепостей, основанных в лесостепной полосе России и построенных на малых реках, только Воронеж и Тамбов получили в XVIII в. мощный импульс, став губернскими центрами.

При массовом обследовании городов и сел Российской империи выявилась следующая тенденция: по мере быстрого продвижения границы на юго-восток – к причерноморским и прикаспийским степям, и на восток страны – в южную Сибирь – крепости, существовавшие всего лишь полвека, быстро утрачивали свой военный характер и превращались в мелкие торгово-ремесленные поселения. Обычным стало запустение и старинных, и относительно молодых городов. Это в полной мере относится ко многим городам междуречья Средней Волги и Оки и к Темникову в частности. Если некоторые старые русские города, расположенные на крупных речных коммуникациях, продолжали свое развитие, базировавшееся на оптовой торговле, то города, оказавшиеся в центре государства вдали от сухопутных и водных дорог, почти на два века замкнулись в пределах своего локального сельскохозяйственного окружения.

В середине XVIII в. начинается экономическое обследование страны, длившееся более 60 лет: в 1766–1843 гг. была проделана грандиозная работа по генеральному межеванию и составлению топографического описания губерний (установлению границ земельных участков, составлению подробных карт уездов с экономическими примечаниями, составлению планов городов). Экономическое обследование стало основой беспрецедентной в мировой градостроительной истории реконструкции крупных населенных пунктов империи.

Другая особенность градостроительной политики XVIII в. заключается в том, что архитектурная типология городов и характер застройки были напрямую связаны с их политическим статусом: в результате административной реформы города были классифицированы на губернские, уездные, заштатные, и для каждого типа составлена архитектурная номенклатура.

Темников в 1779 г. стал уездным городом Тамбовского наместничества (с 1796 – Тамбовской губернии). В конце XVIII в. р. Мокша стала главной композиционной осью большой территории: река связала город на правом берегу и строящийся ансамбль Санаксарского монастыря на левом. Перепланировка города, сделанная в конце XVIII – начале XIX в., является рационализацией старой сложной системы в условиях изрезанного ландшафта. Еще в начале XVIII в. темниковская крепость была разрушена за ненадобностью, поэтому в 1707 г. проезжавший Темников К. Де Бруин никакой фортификации не видел, что специально отметил в своих записках. Как правило, на месте крепости возникала центральная площадь города со старинным собором. В Темникове, вероятно, дело обстояло сложнее, место для площади было выбрано южнее руин крепости. К 1770-м гг. посад вышел в устье оврага Самбег и поднялся на его южную сторону, на восточной окраине города, у начала оврага, было сделано кладбище.

Фиксационный план 1782 г. показывает членение города на три части: северную и западную с изломанной лучевой системой улиц, ориентированных на главную городскую площадь над котловиной, и южную с ветвистой планировкой. На фиксационном плане показаны: обширное, но бесформенное пространство будущей площади, каменный собор, к югу от него в устье оврага стоят две каменные церкви, на северной окраине три каменные церкви, на северо-востоке – кладбище с каменной и деревянной церквами. Общественные здания (среди них необходимые по номенклатуре уездного города магистрат, таможня, кабацкая контора, конская изба) выделены на плане как присутственные места: каменные здания располагаются южнее собора, деревянные здания (несколько строений) – также южнее собора и в устье оврага. В 1781 г. в городе насчитывалось 1626 жителей мужского пола, в слободах имелось 663 деревянных жилых дома.

Перепланировка города по генеральному плану 1797 г. продолжалась два десятилетия, она велась осторожно, с учетом существовавшей застройки, поэтому даже до сегодняшнего дня в нарезке кварталов сохранились неправильности, не ликвидированные в начале XIX в. [12]. Между тем, Темников приобрел более четкую планировочную структуру: он стал параллелограммом с отсеченной оз. Безымянным северной частью. В центре города на возвышенности сформировалась большая

площадь пятигранной формы с общественными зданиями, на которую были ориентированы улицы северной, западной и южной частей; создалось подобие радиально-кольцевой системы с кварталами неправильной формы разного размера.

В начале XIX в. сформировались главные улицы и композиционные центры города: на возвышенности Соборная площадь с общественными зданиями; северный центр – кварталы вокруг Троицкой церкви; южный центр – кварталы вокруг Успенской церкви. В 1847 г. после крупного пожара были реконструированы кварталы с каменной застройкой, прилегающие к Соборной площади, к этому времени приобретшей правильную геометрию. Во второй половине XIX – начале XX в. городское пространство развивается по заложенным ранее рациональным принципам: выделяется главное пространство города – Соборная площадь с административными, торговыми, культовыми зданиями, расположенная на возвышенном и открытом месте; вокруг центра на плато и склонах размещается квартальная застройка, органично связанная с микрорельефом и ориентированная на городской центр. Среди кварталов создаются локальные центры, вокруг приходских церквей на открытых площадках. Главными элементами городского плана остаются квартал, улица и система площадей (Соборная, Базарная, церковные). В середине XIX в. окончательно сформировалась панорама города с западного – противоположного – берега р. Мокши.

Темников начала XIX в. имеет ряд градостроительных аналогов. Наиболее близка его плану правобережная часть г. Торжка (1779), где в радиально-кольцевой планировке синтезировались порядковая и лучевая системы.

Статистика показывает, что Темников в первой половине XIX в. экономически и пространственно развивался. В 1808 г. размеры города составили 2×1,5 версты, в нем насчитывалось 1656 жителей мужского пола, обывательских дворов 663, 17 деревянных лавок, 4 приходские каменные и 2 деревянные церкви, а также 2 кладбищенские церкви. В 1848 г. в городе насчитывалось 6855 жителей обоего пола, имелось 828 жилых домов, отчеты зафиксировали 5 церквей.

Все города междуречья Средней Волги и Оки в XVIII–XIX вв. были уездными или заштатными, поэтому их архитектура в этот период была скромна. В результате реконструкции они получили новые пространственные элементы: регулярную планировку, типовую застройку кварталов, соборную и торговую площади, прямые улицы с фронтальной застройкой. Несмотря на низкий административный статус городов, их центры проектировались как ансамбли – это в полной мере относится и к Темникову.

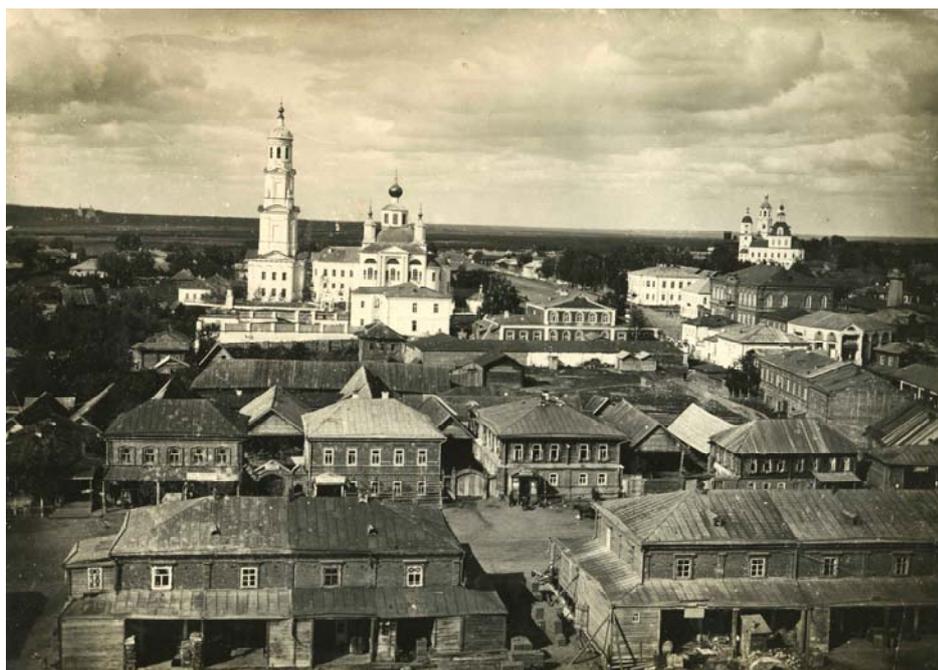


Рис. 2. Вид на Соборную площадь города Темникова. Фото 1912 г.

Главным общественным пространством уездных городов была Соборная площадь. Все крупные городские события, торжества разворачивались именно здесь – от крестного хода до встречи именитых гостей. В городах мордовского края все соборные площади были прямоугольными с культовыми зданиями посередине (в этом продолжалась традиция сельской площади с церковью в центре и избами по периметру). Такое расположение собора и церквей выявляло качества их объемной композиции. Главные каменные административные, жилые и торговые здания располагались по периметру площади и на прилегающих к ней улицах. Если в Саранске и Ардатове площадь была раскрыта одной стороной на реку, то в Темникове площадь замыкалась по периметру (аналогично было сделано в Краснослободске, Инсаре). Особой ценностью являлся вид на загородные пространства – со второго этажа училища были хорошо видны просторы мокшанской поймы.

Базарная площадь была образована в треугольном уширении оврага Самбег в начале XVIII в. Неглубокая чаша рельефа подходила для размещения деревянных построек и временных устройств – столов, навесов и т.п. Рядом в каменных зданиях располагались склады товаров. В конце XIX в. над площадью нависала высокая колокольня Иоанно-Богословской церкви.

Во второй половине XIX – начале XX в. городское пространство развивается по заложенным ранее рациональным принципам. На рубеже XIX–XX вв. городской центр представлял систему двух площадей: верхняя, прямоугольная в плане Соборная площадь была нанизана на главную городскую улицу; нижняя, многогранная в плане Базарная площадь отделялась от верхней кварталом и линией торговых зданий.

К концу XIX в. уездный город Тамбовской губернии Темников не приобрел большого хозяйственного значения, как и другие города мордовского края, его не охватила «строительная горячка» 1880–90-х гг. Рязанская железная дорога, соединившая в 1890-е гг. Москву с Поволжьем, лишь в незначительной степени активизировала хозяйственную и культурную жизнь местных городов: дорога прошла на значительном удалении от Темникова через город Саранск. В статистическом сборнике Тамбовской губернии за 1903 г. говорилось: «В торгово-промышленном отношении, особенно принимая во внимание отдаленность железной дороги (65 верст ст. Торбеево), г. Темников имеет самое заурядное значение. Торговля его ограничивается только потребностями своего уезда» [13].

Если в первой половине XIX в. Темников развивался, то в конце столетия фактически замер в своем развитии. Торгово-промышленное значение Темникова было невелико, оно уступало соседнему в Тамбовской губернии заштатному г. Кадому. Развитию города соответствовала численность его населения, которая в первой половине XIX в. возрастала быстро: на рубеже XVIII–XIX вв. – 1,4 тыс., в 1820-е гг. – почти 6 тыс., в 1851 – 5,8 тыс. чел.

За вторую половину XIX в. территория города увеличилась почти в три раза – за счет новых кварталов в южной и восточной частях, хотя число жителей не возросло. В 1870 г. население города составило 6 592 чел., в городе было 884 жилых дома (из них 12 каменных), 45 лавок, 8 каменных церквей. Функционировала пристань на р. Мокше. В городе имелось мелкое производство (25 «заводов»), где на вывоз изготавливали чугун, кожу и фаянс. По переписи 1897 г. в Темникове проживало 5 737 жителей, в городе насчитывалось 974 жилых домов, из них около 50 каменных. В городе имелось 9 церквей и 3 часовни. Во второй половине XIX в. в центре возводятся каменные здания: церкви, городская и земская управы, уездное и начальное училища, лавки и купеческие жилые дома.

В пригороде Темникова существовали два монастыря: в 1,5 км от города Рождество-Богородицкий женский монастырь и в 5 км от города Санаксарский Рождество-Богородичный мужской монастырь. Ансамбль Санаксарского монастыря является одним из немногих крупных хорошо сохранившихся градостроительных памятников второй половины XVIII – начала XIX в., барочная архитектура которого отличается значительной художественной ценностью.

В советский период город не получил значительного пространственного развития, но со сносом православных церквей в 1930-е гг. он утратил исторически сложившийся облик. Утратив свои главные архитектурные доминанты – почти все храмы, город не приобрел фактически ничего нового в архитектурном плане. В 1970-е гг. он разделился на две части – «старую» с одноэтажной деревянной усадебной и «новую» с каменной многоэтажной застройкой. По генеральному плану 1986 г. (проектировщик – Московский Гипрогор) общегородской центр сохранялся в исторической части, был создан микрорайон Восточный с типовой пятиэтажной застройкой и промышленная зона на северо-восточной окраине города. Зона внешнего транспорта – автостанция междугороднего сообщения и аэродром местной авиации – находится в юго-восточной части города, со стороны южного въезда в город.

Планировку исторического центра можно с полным правом считать историческим памятником Темникова: она не исказила исторический ландшафт (рельеф, водоемы); она сохранила некоторые следы XVII в. (участки улиц Коммунистическая, Войнова, Первомайская, Пролетарская); она во многом сохранила следы регулярной городской структуры, заложенной в конце XVIII – начале XIX в. (улицы Коммунистическая, Интернатская, Люксембург, Крупской, Маркса, Ленина, Пензенская, Московская, Октябрьская, Интернациональная, Дзержинского, Кирова). Квартальная система, заложенная регулярным планом и развитая в середине XIX в., сохранилась с незначительными изменениями: кварталы имеют те же параметры, но застроены все площади, где в начале XX в. находились собор и приходские церкви.

Историко-архитектурная среда без системы культовых объектов, разумеется, не может считаться полноценной. В Темникове целостной системы культовых объектов, составляющих сакральную топографию города, давно нет [15]. Тем не менее, существует возможность воссоздать соборную площадь с городским собором, а также находившимися здесь часовнями.

В целом исторический центр города застроен малоэтажными жилыми зданиями усадебного типа, как старыми (конец XIX – начало XX в.), так и советского периода. Новые коттеджи органично входят в эту среду, некоторые из них выстроены по интересным архитектурным проектам.

В начале XXI в. Темников представляет собой типичный малый город, удаленный от транспортных магистралей федерального значения районный центр. Численность его населения составляет 8,7 тыс. чел. (2014).

Делая вывод из исторического анализа, можно выявить 6 этапов эволюции города Темникова.

1 этап: строительство Темниковской крепости и ее активная роль на государственной границе (конец XVI – XVII в.).

2 этап: деградация города-крепости (XVIII в.).

3 этап: социокультурная реконструкция Темникова (начало XIX в.).

4 этап: социокультурное развитие Темникова в середине XIX – начале XX в.

5 этап: деградация бывшего уездного города в первой половине XX в.

6 этап: экономическое развитие районного центра в условиях социалистического хозяйства во второй половине XX в.

В качестве заключения можно сказать, что историческая часть города Темникова представляет собой значительную градостроительную, архитектурную, художественную ценность и подлежит обязательной государственной охране.

Список литературы

1. Хитров, В. Историко-статистическое описание Тамбовской епархии / В. Хитров. – Тамбов, 1861. – 342 с.
2. Рейтаров, И.С. Город Темников и его уезд / И.С. Рейтаров // Памятная книжка Тамбовской губернии на 1876 год. – Тамбов, 1876. – С. 1–19.
3. Холмогоров, В. Материалы для истории, статистики и археологии города Темникова и его уезда XVII и XVIII столетий (Темниковская десятина) / В. Холмогоров, Г. Холмогоров. – Тамбов, 1890. – 138 с.

4. Статистический сборник Тамбовской губернии. Исторические очерки губернского и уездных городов // Сборник-календарь Тамбовской губернии на 1903 год. – Тамбов: Издание Тамбовской губернской комиссии, 1903. – С. 157–159.
5. Историко-статистическое описание Тамбовской епархии / под ред. А.Е. Андриевского. – Тамбов, 1911. – 909 с.
6. Воронин, И.Д. Достопримечательности Мордовии: природные, исторические, культурные / И.Д. Воронин. – Саранск, 1967. – С. 141–144.
7. Чернухин, А.А. Темников / А.А. Чернухин. – Саранск, 1973 (Города и села Мордовии).
8. Бахмустов, С.Б. Храмы Мордовии / С.Б. Бахмустов. – Саранск, 2015. – С. 281–286.
9. Нечаев, А.Г. Так где же была Темниковская крепость / А.Г. Нечаев // Центр и периферия. – 2009. – № 2. – С. 16–19.
10. Махаев, В.Б. Уездный стиль / В.Б. Махаев. – Саранск, 2014. – С. 118–144. Махаев, В.Б. Город Темников: градостроительная эволюция, архитектура, система историко-культурных памятников / В.Б. Махаев // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. – Саранск, 2014. – Вып. 13. – С. 123–143. Темников – земля Ушаковых. Фотографии из собрания краеведа Александра Чернухина / Авторы текста Н.Н. Зараев, В.Б. Махаев, Г.Н. Позднякова. – Саранск, 2017. – 128 с. Махаев, В.Б. Православные храмы уездного города Темникова XVIII–XIX вв. / В.Б. Махаев // Вестник НИИ гуманитарных наук при Правительстве Республики Мордовия. – 2018. – № 1. – С. 7–20.
11. Нечаев, А.Г. Крепости XVI–XVII веков в междуречье Суры и Мокши / А.Г. Нечаев. – Саранск, 2015. – С. 39–49. Фиксационный план города Темникова 1782 г. // История мордовского народа и мордовского края в уникальных документах. – Саранск, 2012. – С. 36.
12. План города Темникова со слободами, с изображением герба, составленный в ходе Генерального межевания в 1797 г. // История мордовского народа и мордовского края в уникальных архивных документах. – Саранск, 2012. – С. 36.
13. Статистический сборник Тамбовской губернии. Исторические очерки губернского и уездных городов // Сборник-календарь Тамбовской губернии на 1903 год. Издание Тамбовской губернской комиссии. – Тамбов, 1903. – С. 159.
14. Бахмустов, С.Б. Монастыри Мордовии / С.Б. Бахмустов. – Саранск, 2000. – С. 516–609. Махаев, В.Б. Проблема авторства в русской провинциальной архитектуре XVI–XX вв. / В.Б. Махаев. – Саранск, 2013. – С. 44–54.
15. Памятники истории и культуры Республики Мордовия. Каталог. – Саранск, 2007. – С. 79–83.

References

1. Khitrov, V. Historical and statistical description of the Tambov diocese / V. Khitrov. – Tambov, 1861. – 342 p.
2. Reitarov, I.S. The city of Temnikov and its district / I.S. Reitarov // A memorial book of the Tambov province for 1876. – Tambov, 1876. – P. 1–19.
3. Kholmogorov, V. Materials for the history, statistics and archeology of the city of Temnikov and its district of the XVII and XVIII centuries (Temnikovskaya Tithe) / V. Kholmogorov, G. Kholmogorov. – Tambov, 1890. – 138 p.
4. Statistical collection of Tambov province. Historical essays provincial and countg cities // Collection of the calendar of the Tambov province of 1903. Edition of the Tambov Provincial Commission. – Tambov, 1903. – P. 157–159.
5. Historical and statistical description of the Tambov diocese / ed. A.E. Andrievsky. – Tambov, 1911. – 909 p.
6. Voronin, I.D. Sights of Mordovia: natural, historical, cultural / I.D. Voronin. – Saransk, 1967. – P.141–144.
7. Chernukhin, A.A. Temnikov / A.A. Chernukhin. – Saransk, 1973.
8. Bakhmoustov, S.B. Temples of Mordovia / S.B. Bakhmoustov. – Saransk, 2015. – P. 281–286.

9. Nechaev, A.G. So where was Temnikov fortress / A.G. Nechaev // Center and periphery. – 2009. – № 2. – P. 16–19.
10. Mahaev, V.B. County style / V.B. Mahaev. – Saransk, 2014. – P. 118–144. Makhaev, V.B. City of Temnikov: urban evolution, architecture, the system of historical and cultural monuments / V.B. Mahaev // Actual issues of architecture and construction. Saransk, 2014. – Issue. 13. – P.123–143. Temnikov is the land of Ushakovs. Photos from the collection of local historian Alexander Chernukhin / Authors of text N.N. Zaraev, V.B. Makhaev, G.N. Pozdnyakova. – Saransk, 2017. – 128 p. Makhaev, V.B. Orthodox temples of the district town of Temnikov XVIII-XIX centuries / V.B. Mahaev // Bulletin of the Institute of Humanitarian Sciences under the Government of the Republic of Mordovia. – 2018. – № 1. – P. 7–20.
11. Nechaev, A.G. Fortresses of the XVI-XVII centuries in the interfluvium of the Sura and the Moksha / A.G. Nechaev. – Saransk, 2015. – P. 39–49. Fixation plan of the city of Temnikov in 1782 // History of the Mordovian people and Mordovia in unique documents. – Saransk, 2012. – P. 36.
12. Plane Temnikov city with settlements, with the image of the coat of arms, drawn up during the General surveying in 1797 // History of the Mordovian people and the Mordovian land in unique archival documents. – Saransk, 2012. – P. 36.
13. Statistical collection of Tambov province. Historical essays provincial and uyezd cities // Collection of the calendar of the Tambov province for 1903. Edition of the Tambov Provincial Commission. – Tambov, 1903. – P. 159.
14. Bakhmoustov, S.B. Monasteries of Mordovia / S.B. Bakhmoustov. – Saransk, 2000. – P. 516-609. Makhaev, V.B. The problem of authorship in Russian provincial architecture of the 16th-20th centuries / V.B. Mahaev. – Saransk, 2013. – P. 44–54.
15. Monuments of history and culture of the Republic of Mordovia. Catalog. – Saransk, 2007. – P. 79–83.

УДК: 712.4:332

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

Девликамов Алексей Фяритович,
аспирант кафедры «Градостроительство»

Херувимова Ирина Александровна,
кандидат архитектуры,
доцент кафедры «Градостроительство»
E-mail: heruvim-arch@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

Devlikamov Alexey Fyaritovich,
Postgraduate of the department «Town
planning»

Heruvimova Irina Aleksandrovna,
Candidate of Architecture, Associate Professor
of the department «Town planning»
E-mail: heruvim-arch@mail.ru

ЗАРУБЕЖНАЯ ПРАКТИКА КОМПЕНСАЦИОННОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

А.Ф. Девликамов, И.А. Херувимова

Рассматриваются проблемы компенсационного озеленения городских территорий, анализируется современная зарубежная правовая практика в решении этой проблемы, определяются положительные моменты опыта компенсационного озеленения зарубежных стран. Обобщается теоретический и практический опыт, систематизируются методы обеспечения восстановления, сохранения, компенсации озеленения в процессе инвестиционно-строительного освоения городских территорий, контроля за соблюдением этих процедур. Приводятся примеры успешной реализации компенсационного озеленения за рубежом (Великобритания, Германия, США, Австрия и др.).

Ключевые слова: компенсационное озеленение, городские территории, зарубежная практика, экологическое сопровождение строительной деятельности

FOREIGN PRACTICE OF COMPENSATORY LANDSCAPING IN URBAN AREAS DEVELOPMENT

A.F. Devlikamov, I.A. Heruvimova

The article is about the actual problem of urban areas compensatory landscaping. It includes examples of modern foreign administrative and legal practice in solving this problem, determining the positive aspects of the foreign countries compensation landscaping experience and possibility to gain. Theoretical and practical experience of compensation landscaping and methods for its ensuring restoration, preservation, monitoring. The article includes examples of successful implementation of this practice abroad (Great Britain, Germany, USA, Austria, etc.).

Keywords: compensatory landscaping, urban territory, foreign regulations, control of landscaping of urban areas

Введение

Современный этап развития городского благоустройства и озеленения ставит ряд новых задач, которые невозможно решить без широкого использования достижений научно-технического прогресса, передового практического опыта. Мероприятия по благоустройству и озеленению городов должны быть обоснованы глубоким научно-методическим анализом каждого проекта. Проектирование включает в себя, кроме архитектурных решений, еще и градостроительные, социально-экономические, организационно-правовые, финансовые и природоохранные мероприятия. Сложность реализации мероприятий благоустройства и озеленения обусловлена ростом урбанизированности городских территорий, сокращением в процессе уплотнения городской застройки озелененных территорий.

Поиски новых методик обеспечения природопользования, способов улучшения экологической политики в Западной Европе начались в 60–70-х годах XX века, причиной этому послужило ухудшение экологической ситуации. На сегодняшний день в мире накоплен большой опыт организация управления благоустройством городских территорий, компенсации потерь от антропогенного вмешательства в озеленение города. Непосредственно городское озеленение трактуется в качестве *зеленой инфраструктуры* города (Green Infrastructure (GI)), а *компенсационное озеленение* является частью зеленой инфраструктуры в целом.

Перед нами стояли следующие задачи:

– изучить примеры современной зарубежной административно-правовой практики компенсационного озеленения городских территорий в процессе их реконструкции и нового строительства;

– определить ключевые положительные моменты опыта компенсационного озеленения зарубежных стран, возможные к реализации в отечественной практике.

Зарубежные нормативные акты трактуют компенсационное озеленение как воспроизводство зеленых насаждений взамен уничтоженных или поврежденных. Положения о городском озеленении и способы компенсации озеленения при освоении городских территорий в разных странах реализуются по-разному.

США. В нормативных документах США затрагиваются вопросы контроля зеленых насаждений в структуре города и способы компенсации озеленения вследствие интенсивного освоения городских территорий. Главный документ о городском озеленении Нью-Йорка – «Правила землепользования и застройки» [1], в соответствии с требованиями которых предусматриваются общие и частные правила озеленения общественных и жилых территорий.

Для общественных территорий не менее 20 % территории общего пользования следует планировать с озеленением за счет посадочных мест минимальным габаритным размером 0,6 метра. На общественных территориях площадью более 540 м² необходимо предусматривать дополнительную посадку деревьев на каждые 100 м². Для всех общественных площадей не менее 50 % посаженных деревьев должны быть организованы в пределах установленных для них посадочных площадок. Любая посадочная площадка, содержащая требуемые деревья, должна иметь площадь не менее 6,75 м² для каждого дерева.

Для жилых территорий правилами предусматривается обязательная посадка деревьев застройщиком из расчета 1 дерево на 7,5 метров (25 футов) вдоль жилой улицы (на границе правообладателя земельного участка с территорией общего пользования). В случаях, когда соблюдение данного правила невозможно (например, при строительстве в зоне исторической застройки), по согласованию с Департаментом городского озеленения определяется альтернативное место для озеленения по усмотрению Департамента на основании заявления от застройщика. Альтернативные зоны для посадки изначально закреплены в документах Департамента в радиусе не более 800 метров от места строительства. Если посадка деревьев невозможна на альтернативном участке, то застройщик обязан внести денежные средства в бюджет города на перспективное озеленение (так называемый внесезонный депозит).

Разработку программ по восстановлению, сохранению, компенсации озеленения, контроль за соблюдением «Правил землепользования и застройки» осуществляет Департамент городского озеленения. Доступный интернет-ресурс предлагает интерактивные карты городского озеленения Нью-Йорка с детальным описанием всех насаждений:

– интерактивная карта города с общим зонированием озелененных территорий;
– интерактивная карта ранжирования деревьев на территории городского округа;
– детальное описание выбранного зеленого насаждения на конкретном участке (рис.1).

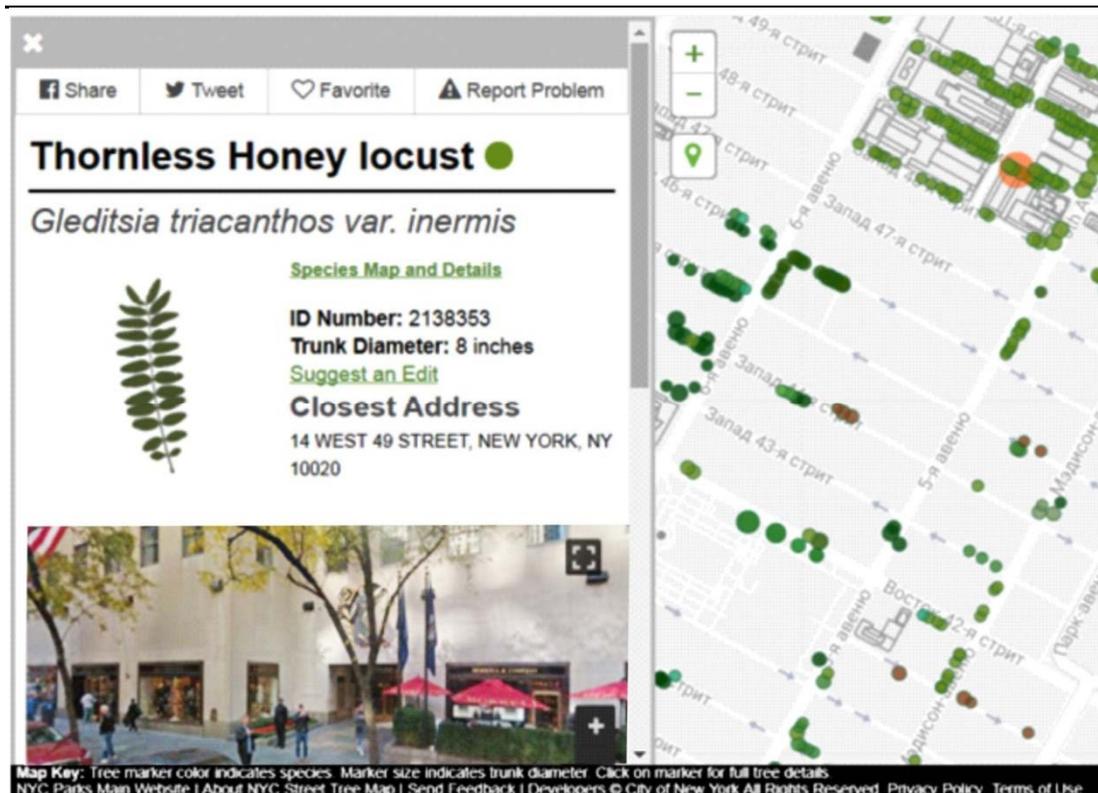


Рис. 1. Детальное описание выбранного зеленого насаждения на конкретном участке

Великобритания. Законодательство Великобритании в области городского проектирования содержит положения по озеленению и компенсации зеленых насаждений в следующих регулирующих документах:

- 1) Закон о городском и загородном планировании (Town and Country Planning Act) [3];
- 2) программа Natural England;
- 3) положения национальной политики планирования (National Planning Policy Framework).

Закон о городском и загородном планировании содержит главу по озеленению и сохранению деревьев при выдаче разрешения на строительство (Part VIII). Местный орган городского планирования уполномочен накладывать условия для сохранения и развития озеленения при выдаче разрешения на строительство.

К полномочиям местных органов относится контроль за существующими зелеными насаждениями, и с целью соблюдения их сохранения формируются положения на перечень охраняемых деревьев и их групп, издаваемые в приказе о “Порядке сохранения озеленения”. Оценка потенциала зеленых насаждений содержит следующие данные:

- размер и форма;
- потенциал в качестве удобства размещения на территории;
- принадлежность к редким видам растений, культурная и историческая ценность;
- связь с ландшафтом.

Документы на сохранение зеленых насаждений включают следующую информацию:

- о нынешнем использовании земли;
- о лицах, имеющих законные основания на землю;
- значение зеленых насаждений в экосистеме города;
- карта с нанесенными зелеными насаждениями (оформляется в качестве приложения);
- спецификация деревьев и их групп в соответствии с картой.

Документы также предусматривают запрещение вырубки, умышленного ущерба, уничтожения зеленых насаждений в списке охраняемых без предоставленного согласия со стороны местного органа.

Положения о компенсации насаждений включают:

- правила выплаты компенсации в случае, если отсутствует согласие на сохранение насаждений, если есть особые условия, при которых сохранение невозможно;
- определение лиц, которые обязуются выплатить компенсацию;
- определение лиц, которые имеют право на получение компенсации за уничтожение насаждений другими лицами;
- правила расчета компенсации.

При выполнении строительных работ, требующих удаления зеленых насаждений, частичной обрезки ветвей деревьев в зоне строительства или нависающих ветвей с соседних участков, заявитель подает предложения о компенсации посадок и указывает их причины (рис. 2). Предложения должны быть пропорциональным решением проблемы удаления насаждения.



Рис. 2. Процесс принятия решения относительно компенсации зеленого насаждения

В заявке указываются характеристики зеленого насаждения (разновидность, название). Указывается наиболее подробный перечень работ с иллюстрацией по зеленому насаждению, которые планируется произвести для каждого дерева отдельно в зоне строительства. Составляется карта-схема с нанесением:

- границ участка строительства и смежных участков, примыкающих дорог;

- размеров между рассматриваемыми зелеными насаждениями и объектами;
- нумерации зеленых насаждений и позиции;
- фотофиксации.

Местными органами создан реестр по хранению всех заявок в открытом доступе для общественности и обсуждения в режиме онлайн.

Программа Natural England в Великобритании нацелена на повышение качества окружающей среды, где девелопмент городской территории включает радикальные мероприятия по компенсационному озеленению. Например, жилой комплекс Greenwich Peninsula, спланированный с элементами озеленения на фасадах и кровле, а также с разработкой прилегающей территории набережной р. Темзы (рис. 3).



Рис. 3. Комплекс Greenwich Peninsula: жилые здания вдоль набережной, фрагмент озеленения кровли пентхауса жилого здания

Германия обладает принципами и эффективными приемами оценки, предотвращения и компенсации нарушений окружающей среды, реализация которых подкреплена обширной правовой и методической базой. Природоохранное регулирование вмешательства в Германии рассматривается в Федеральном законе об охране природы (BNatSchG). На уровне земель действуют дополняющие положения. Согласно § 13 Закона BNatSchG устанавливается регулирование вмешательства как общий принцип

природоохранного права, в соответствии с которым виновник предполагаемых нарушений природы и ландшафта должен преимущественно их предотвратить. Существенные нарушения, которые нельзя предотвратить, следует компенсировать мероприятиями по возмещению, замене или, если это невозможно, денежной выплатой. Требование предотвращения обязывает виновную сторону на этапах проектирования и реализации проекта осуществлять максимально экологически безвредный вариант. Если нарушение невозможно предотвратить, это необходимо обосновывать. Факт вмешательства в природу оценивается даже по изменению внешнего облика ландшафта, причем оценивается субъективным восприятием человека как эксперта [4]. Важным фактором является законодательно признанное право каждого гражданина получать экологическую информацию и подавать без доказательства субъективной заинтересованности протест против запланированного проекта.

Сегодня государственная политика ФРГ по охране окружающей среды опирается на четыре принципа: *принцип компенсации ущерба* окружающей среде за счёт виновного (замена компенсационных мероприятий выравнивающими экологическими платежами, которые взимаются после произведенного вмешательства в окружающую среду); *принцип профилактики* – предотвращение и компенсация ожидаемых существенных нарушений облика ландшафта; *принцип сотрудничества* призван включить всех действующих лиц в процесс принятия экологических решений; *принцип интеграции* должен гарантировать эффективность защиты окружающей среды на всех градостроительных и административных уровнях.

Австрия. Положения по защите зеленых насаждений Австрии (Вена) прописаны в “Акте по защите деревьев” [5], который постоянно актуализируется и реализуется в положениях по защите окружающей среды (сады и парки), представленных на официальном правительственном сайте Вены [6]. Законодательство по озеленению в Австрии является наиболее строгим и исполнительным по сравнению с другими странами Европы. Венский закон об охране насаждений защищает все деревья в городе (лиственные или хвойные), которые имеют диаметр ствола не менее 40 см, измеренный на высоте 1 м от его основания (Landesrecht-Wien 2013, §1). Закон запрещает гражданам удалять, рубить или повреждать деревья механическими и химическими средствами, а также препятствовать их росту или причинять вред другими средствами. Землевладельцы и арендаторы земельных участков являются ответственными за сохранение деревьев на территории их собственности. Неуполномоченные действия над зелеными насаждениями преследуются по закону. Закон обязывает отдельных лиц заменить любое дерево, которое удаляется. Количество замен (компенсация) определяется размером каждого удаляемого дерева: дополнительные деревья должны быть посажены из расчета на каждые 15 см диаметра ствола (т.е. 90 см окружности дерева потребует посадки 6 деревьев). По возможности замена деревьев должна быть произведена в пределах 300 метров от дерева, которое было удалено. В тех случаях, когда пересадка деревьев оправданно считается невозможной, физические лица должны оплатить ущерб. Стоимость замены дерева составляет 1 090 евро. Закон подчеркивает, что право на вырубку деревьев не может быть куплено за эту цену. То есть положение об оплате является санкционированным нормативным, а не финансовым документом (Kroneder, 2016). Осуществление Венского закона об охране деревьев основывается на отчетах и инспекциях. Существует общегородской онлайн-реестр деревьев в общественных местах (Винер Baumkataster – кадастровый план и каталог деревьев) (рис. 4) [5].

Сайт также содержит вкладку “Виртуальный офис”, где находятся ссылки на подачу заявок по обеспечению финансирования в организации “Зеленой кровли”, “Озеленения дворовых территорий”, “Озеленения фасада”, “Удаления деревьев”. Цель ресурса – исполнение закона о защите зеленых насаждений, улучшение качества жизни.

Положительный аспект, который демонстрирует законодательство Вены, заключается в том, что оно помогает поддерживать существующие зеленые насаждения при невысоком уровне посадки новых насаждений.

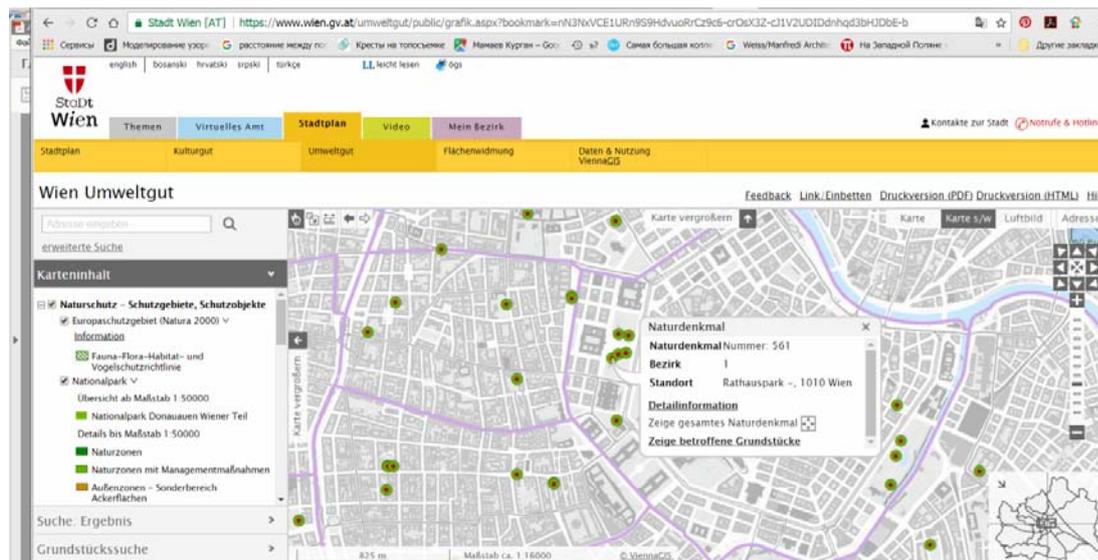


Рис. 4. Онлайн-реестр городского озеленения Вены. Отображение информации на выделенном объекте (статус зеленого насаждения, номер в реестре, ссылка на отдельную веб-страницу по месту произрастания дерева)

Сфера применения и сила законодательства по защите насаждений в разных странах могут различаться по следующим позициям:

- рассматриваются частные и /или/ общественные зоны с озеленением;
- расчет компенсации ведется по высоте /окружности/ дерева (см);
- учитываются особые виды деревьев или нет;
- рассматриваются ли виды работ с деревом (т.е. резка, удаление, усечение);
- перечень исключений по защите насаждений на выбранных территориях (т.е. леса, озеленение у транспортных магистралей, кладбища, питомники, фруктовые деревья, хвойные растения);
- необходимость лицензии на вырубку;
- непосредственно компенсация (обязательство по замене деревьев или штрафы и пени).

Россия. Сложившаяся в России система компенсаций экологических нарушений при новом городском строительстве ориентирована большей частью на денежные выплаты. Эти деньги направляются в федеральный и региональные бюджеты, редко используются на природоохранные цели и практически никогда на восстановление конкретного нарушения, за которое они были выплачены. Региональное природоохранное законодательство в основном дублирует федеральные законы, уточняя лишь ставки платы с помощью региональных повышающих или понижающих коэффициентов. Исключение составляет природоохранное законодательство Москвы, где предусмотрены определенные меры натуральной компенсации. Законы г. Москвы [7, 8] и сопровождающие их нормативные документы устанавливают:

- обязательное возмещение вреда, причиненного городским почвам, в виде рекультивационных, реабилитационных работ;
- обязательное компенсационное озеленение во всех случаях повреждения или уничтожения зеленых насаждений.

Накоплен некоторый опыт натуральной компенсации нарушений при строительстве олимпийских объектов в г. Сочи. Экологические требования к проектированию и строительству олимпийских объектов включают мероприятия, которые можно рассматривать как компенсационные:

- сохранение существующих и реконструкция поврежденных в процессе строительства прилегающих природных территорий с целью сохранения биоразнообразия;
- разработка новых высококачественных, устойчивых, современных объектов ландшафтной архитектуры и комплексного благоустройства;

– подбор ассортимента растений с учетом природно-климатической зоны проектирования.

Выводы

Необходимо выделить из мирового опыта основные методические элементы экологического сопровождения проектов, которые можно использовать при унификации общих правил экологической компенсации в России.

1. Особенности европейской и американской систем оценки и компенсации ущерба зеленым насаждениям в городах являются: – покомпонентный подход, т.е. расчет платы за нанесение вреда каждому компоненту озеленения в отдельности; – преобладание натуральной компенсации; – реестр городского озеленения.

2. Для наиболее эффективного методического обеспечения процесса экологического сопровождения инвестиционно-строительной деятельности на городских территориях, связанной с утратой зеленых насаждений, в европейских странах проводится постоянный мониторинг информации о зеленых насаждениях и мероприятиях, с ними связанных, и обновляются интерактивные карты с их реестром в доступных интернет-ресурсах. Важным фактором является право каждого гражданина получать экологическую информацию и участвовать в принятии решений по компенсации от реализации проектов.

3. Правила землепользования и застройки, законы о городском планировании и т.д. содержат гораздо более жесткие ограничения и более обширные регламенты по сохранению и обеспечению озеленения на жилых и общественных территориях, чем отечественные градостроительные регламенты.

4. В зарубежной стратегии и практике реконструкции и нового строительства городских пространств задействованы многочисленные программы благоустройства, озеленения, застройки. Успешная практика реализации программ и проектов основывается на глубоком научно-методическом анализе каждой конкретной градостроительной ситуации и использует самые прогрессивные способы увеличения площадей под озеленение.

Создание механизма полного гарантированного возмещения вреда окружающей среде или системы натуральной компенсации, исключаящей денежную компенсацию, практически невозможно, чаще всего в связи с дефицитом городских территорий. Однако повсеместное необоснованное использование в отечественных городах денежной компенсации взамен натуральной надо законодательно переводить в практику публичного градостроительного обоснования, обеспечивать конкретный адресный план территории и мероприятий по благоустройству и озеленению и прозрачность прохождения компенсационных денежных средств. В каждом городе должны разрабатываться в статусе градостроительного документа программы создания современных объектов ландшафтной архитектуры и комплексного благоустройства.

Список литературы

1. Zoning resolution the City of New York. – URL: <http://www1.nyc.gov/site/planning/zoning>
2. New York City Street Tree Map. – URL: <https://treemap.nycgovparks.org>
3. Town and Country Planning Act. – URL: <http://www.legislation.gov.uk>
4. Оценка нарушений окружающей среды и их компенсация: российско-германское методическое пособие. – Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2013. – 224 с.
5. Vienna Tree Protection Act in Austria. – URL: <https://ieep.eu/uploads/articles/attachments>
6. Stadt Wien. – URL: <https://www.wien.gv.at>
7. Закон г. Москвы «О защите зеленых насаждений» от 05.05.1999 N 17 (ред. от 07.05.2014). – URL: <https://moskva-pravo.ru/zakon/o-zashchite-zelenyh-nasazhdenij/>

8. Закон г. Москвы от 04.07.2007 № 31 (ред. от 10.06.2009) «О городских почвах». – URL: <https://www.lawmix.ru/moscow-prof/45>

References

1. Zoning resolution the City of New York. – URL: <http://www1.nyc.gov/site/planning/zoning>
2. New York City Street Tree Map. – URL: <https://treemap.nycgovparks.org>
3. Town and Country Planning Act. – URL: <http://www.legislation.gov.uk>
4. Assessment of environmental violations and their compensation: the Russian-German methodical manual. – Irkutsk: Publishing house of the Institute of Geography. V.B. Sochava of SB RAS, 2013. – 224 p.
5. Vienna Tree Protection Act in Austria. – URL: <https://ieep.eu/uploads/articles/attachments>
6. Stadt Wien. – URL: <https://www.wien.gv.at>
7. Law of Moscow «On the Protection of Greenery» of 05.05.1999 No. 17 (as amended on May 7, 2014). – URL: <https://moskva-pravo.ru/zakon/o-zashchite-zelenyh-nasazhdenij/>
8. Law of Moscow of 04.07.2007 № 31 (Edited on 10.06.2009) «On urban soils». – URL: <https://www.lawmix.ru/moscow-prof/45>

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

*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 Aleksander 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

ВЫБОР КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЗДАНИЯ

А.М. Береговой, В.А. Береговой

При выборе концепции архитектурно-строительного проектирования энергоэффективного здания основное внимание уделено изучению механизма взаимодействия процессов теплообмена в наружной оболочке с теплоэнергетическими и экологическими параметрами единой энергетической и экологической системы здания. Исследовано влияние на процесс теплообмена и экономию тепловой энергии конструктивных особенностей наружных ограждений: сопротивления воздухопроницанию конструкции и расположения в ней слоев с различной плотностью материалов.

Рассмотрено влияние на энергоэффективность здания следующих энергосберегающих решений и подходов: определение энергетических потребностей проектируемого здания на основе здания-аналога, повышение энергоактивности архитектурно-конструктивных и объемно-планировочных решений здания, оценка экономической эффективности проектного варианта тепловой защиты здания на основе здания-аналога с учетом роста стоимости топлива.

Ключевые слова: энергоэффективное здание, наружные ограждающие конструкции, энергоактивность здания, концепция проектирования, архитектурно-строительное проектирование, процессы теплообмена, сопротивление воздухопроницанию конструкции

SELECTION OF THE CONCEPT OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION DESIGN OF AN ENERGY EFFICIENT BUILDING

A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy

When choosing the concept of architectural and construction design of an energy efficient building, the main attention is paid to the study of the mechanism of interaction of heat and mass transfer processes in the external enclosure structures with heat-energy and ecological parameters of a united energy and ecological system of a building. The influence on the process of mass transfer and the heat energy saving of structural features of outer enclosures was investigated: the resistance to air permeability of a structure and the location of layers with different material densities.

The effect on the energy efficiency of the building of following energy-saving solutions and approaches was considered: the determination of the energy requirements of the projected building on the basis of the analogue building, the increase in the energy activity of the architectural and space

planning decisions of the building, the economic efficiency of the design option of the thermal protection of the building on the basis of an analogue building taking into account the increase in the cost of fuel were considered.

Keywords: energy efficient building, external enclosure structures, energy activity of the building, the concept of design, architecture and construction design of building, heat and mass transfer processes, air permeability resistance

На поддержание требуемых параметров микроклимата зданий расходуется значительная часть добываемого в нашей стране углеводородного сырья. Это требует более глубокого анализа и системного подхода при разработке объемно-планировочных и архитектурно-конструктивных решений энергоэффективных, в том числе энергоактивных зданий, которые по своему функциональному назначению должны обеспечивать существенную экономию энергоресурсов и применение нетрадиционных видов энергии при их эксплуатации.

Сложность решения задачи по определению энергетической потребности здания заключается в необходимости учета всего комплекса воздействий на его энергопотребление как на единую энергетическую и экологическую систему (ЕЭЭС) в конкретных климатических условиях и режимах эксплуатации. Изложенный в [1] способ определения класса энергетической эффективности здания не полностью рассматривает сложный механизм взаимодействия процессов тепломассопереноса в наружный оболочке с теплоэнергетическими и экологическими параметрами ЕЭЭС здания. Некоторые особенности моделирования этого механизма рассмотрены в [2–5].

В [6] описано влияние на процесс массопереноса и экономию тепловой энергии таких конструктивных особенностей наружных ограждений, как их сопротивление воздухопроницанию R_n и расположение слоев с различной плотностью материалов.

В конструкциях наружных стен и чердачных перекрытий с относительно воздухопроницаемой структурой материала процесс массопереноса может приобретать интенсивный характер (табл. 1, схема 1). К таким вертикальным конструкциям относятся однослойные ограждения, не имеющие плотных фактурных слоев, из крупнопористого керамзитобетона с плотностью 900–1000 кг/м³, кирпичной кладки с «пустошовкой», шлакобетона и др. В массиве таких ограждений, расположенных в нижних этажах зданий, при инфильтрации холодного воздуха может наблюдаться экономизерный эффект, обеспечивающий утилизацию части уходящего теплового потока. Как показывают приведенные уравнения, его величина будет зависеть от параметра R_n , сопротивлений теплопередаче конструкции R и R_o , перепада температур окружающего воздуха $t_v - t_n$. Эффект энергосбережения возникает за счет уменьшения объема вентилируемого воздуха в регулируемой системе естественной вентиляции (через приточные отверстия) и соответствующего снижения расхода тепла на его подогрев в воздушной среде помещения.

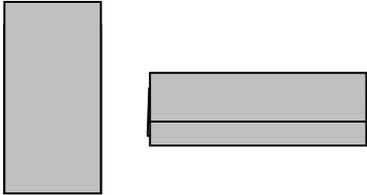
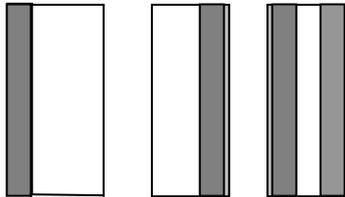
Справа на схеме 1 показана конструкция перекрытия холодного чердака, нижний слой которой выполнен из такого же керамзитобетона или деревянного межбалочного заполнения, а верхний – из минераловатных плит или засыпного утеплителя. В данной структуре отсутствие или плохое состояние цементно-песчаной стяжки по поверхности утеплителя и пароизоляционного слоя вызывают рост тепловых потерь в процессе эксфильтрации воздуха в чердачное пространство. Этот процесс, по существу, описывается аналогичными уравнениями, но в отличие от предыдущей модели напрямую не связан с системой естественной вентиляции. Исходя из схемы воздушного баланса по высоте здания и в соответствии с показанными уравнениями наибольшие теплотери при эксфильтрации наблюдаются через чердачные перекрытия и наружные стены верхних этажей в зданиях повышенной этажности за счет большого теплового напора, который обуславливает рост разницы давлений воздуха Δp и увеличение объема ω уходящего воздуха.

Двух- и трехслойные ограждения по схеме 2, применяемые в бескаркасных зданиях, обычно имеют слои с более плотной структурой материала. В них протекают менее интенсивные процессы массопереноса. Из-за большой величины параметра R_n этих

конструкций значительно уменьшается количество проникающего через них воздуха при экс- и инфильтрации, что является причиной малых эксфильтрационных тепловых потерь и практически неощутимого экономайзерного эффекта.

Наличие плотного слоя с наружной стороны ограждения значительно затрудняет беспрепятственный выход из конструкции второй составляющей процесса массопереноса – диффундирующего потока водяного пара. Образование плоскости конденсации пара под этим слоем может привести к увлажнению окружающего массива ограждения и дополнительным тепловым потерям. Значение коэффициента теплопроводности материала влажной зоны $\lambda_{в}$ может быть найдено в зависимости от коэффициента теплопроводности сухого материала $\lambda_{с}$, влажности материала ω_0 , % по объему, прироста коэффициента теплопроводности δ_{ω} на 1 % объемной влажности материала.

Т а б л и ц а 1
Тепломассоперенос через различные конструкции наружных ограждений

№ схем	Конструктивные схемы наружных ограждений	Расчетное моделирование процессов массопереноса
1		<p>Процесс инфильтрации воздуха [6]</p> $q_u = \frac{c_b \cdot w \cdot e^{c_a \cdot w \cdot R}}{e^{c_b \cdot w \cdot R_0} - 1} \cdot (t_b - t_n)$ $w_{инф} = \Delta P / \sum R_{и}$ $\Delta Q_{вент} = 0,28 \cdot \Delta w_{вент} \cdot \gamma_n \cdot c_b \cdot (t_b - t_n)$ <p>Процесс эксфильтрации воздуха [7]</p> $R_{и} = R_{и1} + R_{и2} + \dots + R_{ин}$ $\omega = \Delta p / R_{и}$ $q_{и} = \frac{c_b \cdot w \cdot e^{c_a \cdot w \cdot R}}{e^{c_b \cdot w \cdot R_0} - 1} \cdot (t_b - t_n)$
2		<p>Процесс паропроницаия [1]</p> $R_{оп} = R_{вп} + \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\mu_n} + R_{ин}$ $R_{п1} = \frac{(e_b - E) R_{ин}}{E - e_n}$ $R_{п2} = \frac{0,0024 z_o (e_b - E_o)}{\gamma_{\omega} \delta_{\omega} \Delta \omega + \eta}$ $\lambda_{в} = \lambda_{с} (1 + \omega_0 \cdot \frac{\delta_{\omega}}{100})$

Выполнение расчетного моделирования, показанного в табл.1, позволяет учесть взаимодействие процессов тепломассопереноса в наружных ограждениях и во внутренней воздушной среде. Для более точной оценки энергоэффективности здания в процессе проектирования немаловажное значение имеет учет следующих энергосберегающих решений и подходов, не отраженных в нормах по тепловой защите здания:

- оценка энергетических потребностей проектируемого здания на основе здания-аналога, имеющего такое же архитектурно-строительное решение;
- повышение энергоактивности архитектурно-конструктивных и объемно-планировочных решений здания;
- оценка экономической эффективности проектного варианта тепловой защиты здания на основе здания-аналога с учетом роста стоимости топлива.

Оценить энергетические потребности проектируемого здания позволяют анализ сметно-финансового расчета (СФР) здания-аналога и натурные обследования его тепловой защиты (табл. 2). Такой подход дает возможность усовершенствовать те или иные элементы подсистем проектируемой ЕЭЭС, для того чтобы они могли дать наибольший энергосберегающий и экономический эффект в проектируемом здании.

Рекомендуемая выборка теплоэнергетических параметров из СФР здания-аналога показана в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Годовой расход и стоимость энергии здания-аналога

Подсистемы ЕЭЭС	тепловая		электрическая Вт/м ² (руб/кВт)	всего руб./м ²	в % от общей стоимости энергии
	кДж/м ²	руб./м ²			
Наружные ограждающие конструкции	Указывается для наружных стен, крыши, цокольного перекрытия, светопрозрачных ограждений				
Инженерное оборудование	Указывается для отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования механических вентиляции и охлаждения				
Искусственное освещение	Подсчет можно проводить в период коротких дней				

При проведении натурных обследований оценка уровня тепловой защиты здания-аналога может быть сделана на основании инструментальных измерений показателей микроклимата помещений и температурно-влажностного состояния наружных ограждающих конструкций. Если значения температуры и относительной влажности внутреннего воздуха соответствуют нормативным требованиям (при этом не используются для подогрева воздуха электронагревательные приборы), а также если наблюдается нормальное санитарно-гигиеническое состояние внутренних поверхностей наружных ограждений, то это свидетельствует о достаточно высоком уровне теплозащиты наружной оболочки здания и нормальной работе системы центрального отопления. В то же время систематический перерасход электроэнергии может указывать на недостаточную площадь светопроемов здания-аналога.

После определения энергетических потребностей проектируемого здания оценку его экономической эффективности можно выполнить на основе стоимости выбранных энергосберегающих решений, а также роста стоимости топлива по годам эксплуатации здания. Для более точной оценки сметной стоимости строительства выполняется анализ сметно-финансового расчета здания-аналога.

Учет роста стоимости топлива является непростой задачей, однако можно рассчитать энергетическую потребность для нескольких вариантов роста стоимости топлива, например в диапазоне 5...10 % в год. Большой рост стоимости будет повышать эффективность энергосберегающих решений. Выполненный расчет показывает, что, например, применительно к пятиэтажному жилому дому при росте стоимости энергии 20 % в год и стоимости энергосберегающих вариантов проектирования в несколько десятков тысяч рублей инвестиции в энергоэкономичное проектирование могут окупиться уже в первые несколько лет эксплуатации здания.

При проектировании энергоактивного здания внимательно изучаются особенности его объемно-планировочного решения и анализируются те климатические факторы, которые оказывают на здание воздействие как источники возобновляемой энергии (интенсивность солнечной радиации с учетом облачности, скорость и направление ветра, расчетные температуры наружного воздуха, глубина промерзания суглинистых грунтов и т.д.).

Возможности повышения энергоактивности здания можно оценить на примере доли поглощенного тепла солнечной радиации f от общей величины его тепловой

нагрузки. С увеличением последней показатель f уменьшается, что и происходит в зданиях по мере роста их этажности или отапливаемого объема [5] (табл. 3). Это говорит о большом потенциале энергоактивности малоэтажных зданий, которые, в отличие от многоэтажных, имеют большее отношение площади наружной оболочки, воспринимающей рассеянную энергию природной среды, к строительному объему.

Т а б л и ц а 3

Энергоактивность зданий в зависимости от доли f
поглощенного тепла солнечной радиации

Отапливаемый объем, м ³	Общая тепловая нагрузка, кДж	Доля f , %	Степень энергоактивности
400	67,6	15	Высокая
3600	1057	3,5	Низкая

Особенность многоэтажного здания с энергоактивными участками на фасаде состоит в том, что энергозатраты на его отопление снижаются в узкокорпусном варианте, что особенно заметно при ширине здания менее 12 м [8].

Таким образом, моделирование процессов тепломассопереноса, основанное на использовании механизма инфильтрации и эксфильтрации воздуха через наружные ограждения с различной воздухопроницаемостью, а также сравнительная оценка теплоэнергетических параметров в стадии расчета с параметрами здания-аналога позволяют более точно оценить энергоэффективность проектируемого здания.

Список литературы

1. СП50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23–02–2003.– М.: НИИСФ РААСН, 2012. – 95 с.
2. Показатели энергетической эффективности зданий, строений, сооружений, модернизация которых планируется инвестиционной программой ОАО «ФСК ЕЭС». – 2014. – URL: <http://base.garant.ru/70641716/3e2/> /дата обращения 28.05.2018.
3. Энергоэффективное здание как единая энергетическая система. – URL: <https://ecoteco.ru/id567/> /дата обращения 28.05.2018.
4. Береговой, А.М. Показатели эффективности в системном анализе теплопотерь через энергосберегающие наружные ограждения / А.М. Береговой, О.Л. Викторова, В.А. Береговой // Известия Вузов. Строительство. – 2009. – № 5. – С. 57–61
5. Береговой, А.М. Энергоэкономичные и энергоактивные здания в архитектурно-строительном проектировании / А.М. Береговой, А.В. Гречишкин, В.А. Береговой. – 3-е изд., перераб. и доп. – Пенза, ПГУАС, 2012. – 200 с.
6. Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену / А.М. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Дерина, А.В. Гречишкин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С. 140–144.
7. 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.
8. Береговой, А.М. Энергосбережение в архитектурно-строительном проектировании / А.М. Береговой, А.П. Прошин, В.А. Береговой // Жилищное строительство. – 2002. – № 5. – С.4–6.

Reference

1. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Actualized edition of SNiP 23-02-2003.– М.: NIISF RAASN, 2012. – 95 p.
2. Indicators of energy efficiency of buildings, structures, facilities, modernization of which is planned by the investment program of public corporation «FSC UES». – URL: <http://base.garant.ru/70641716/3e2/> / date of the application 28.05.2018.

3. Energy efficient building as a united energy system – URL: <https://ecoteco.ru/id567/> дата обращения 28.05.2018.
4. Beregovoy, A.M. Performance indicators in the system analysis of the heat losses through the exterior enclosure structures / A.M. Beregovoy, O.L. Viktorova, V.A. Beregovoy // News of higher educational institutions. – 2009– No. 5. – P. 57–61.
5. Beregovoy, A.M. Energy-efficient and energy active buildings in architecture and building engineering / A.M. Beregovoy, A.V. Grechishkin, V.A. Beregovoy. – 3-e edition., revised and enlarged. – Penza: State University of Architecture and Construction, 2012. – 200 p.
6. The effect of energy saving in a 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.
7. 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, V.A. Beregovoy, A.V. Maltsev // Regional architecture and engineering. – 2014. – No.2. – P. 79–83.
8. Beregovoy, A.M. Energy saving in architecture and building engineering / A.M. Beregovoy, A.P. Proshin, V.A. Beregovoy // Housing construction. – 2002. – No. 5. – P. 4–6.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛИЗАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ВУЗА

Л.А. Васин

Современные требования к информационным системам образовательных учреждений обязывают иметь множество прикладных сетевых служб, таких, как Интернет-сайт, электронная почта, электронные курсы, видеоконференции, электронный деканат, файловый сервис и др. С ростом их числа возникает необходимость в использовании большого количества аппаратных серверных платформ, что увеличивает общую стоимость информационной системы.

Развитие аппаратных и программных средств позволяет использовать несколько экземпляров операционных систем на одной физической аппаратной платформе и создавать различные варианты одновременного использования нескольких операционных систем, запускать изолированные сетевые службы. Такой принцип организации значительно увеличит надежность функционирования информационных сервисов вуза, повысит эффективность загрузки аппаратных платформ.

Существует несколько различных технологий виртуализации, которые различаются по архитектуре, функционированию и применению в составе операционных систем. Задачей для системного администрирования является определение необходимых технологий виртуализации для различных информационных служб.

Рассмотрен вариант использования виртуальных машин для обеспечения функционирования сетевых служб вуза на основе операционной системы Linux.

Ключевые слова: информационная система, системная архитектура, виртуализация, операционная система, Интернет-сервер, файловый сервер, сетевой интерфейс, процесс, миграция, резервирование

APPLICATION OF VIRTUALIZATION TECHNOLOGY IN THE INFORMATION SYSTEM OF THE UNIVERSITY

L.A. Vasin

Modern requirements for the information systems of educational institutions require a lot of applied network services, such as the Internet site, e-mail, e-courses, videoconferences, electronic dean's office, file service and others. With the growth of their number, it becomes necessary to use a large number of hardware server platforms, which increases the total cost of the information system.

The development of hardware and software allows several instances of operating systems to be used on a single physical hardware platform using virtualization technology. This allows on one platform to create different variants of simultaneous use of different operating systems, the launch of isolated network services. This principle of organization allows you to significantly increase the reliability of the information services of the University, to increase the efficiency of the loading of hardware platforms.

There are several different virtualization technologies that differ in the architecture, functioning and application of operating systems. The task for system administration is to determine the virtualization technologies used for various information services.

The option of using virtual machines to provide the functioning of the university's network services based on the Linux operating system is considered.

Keywords: information system, system architecture, virtualization, operating system, Internet server, file server, network interface, process, migration, backup

Введение

Проектирование информационной системы, а также добавление новых функциональных компонент всегда связаны с имеющимися аппаратными и программными ресурсами. При разработке и внедрении в работу новых сервисов, таких, например, как Интернет-сайт, файловое хранилище, электронные курсы и другие прикладные службы, реализованные для Web-платформ, возникают конфликты во взаимодействии с уже существующими и рабочими информационными сервисами. Это происходит из-за попыток использовать имеющиеся в информационной системе серверные аппаратные ресурсы. Причем конфликтные ситуации могут возникать не только из-за ресурсов, но и из-за политик безопасности, администрирования и организации пользовательского доступа.

Кроме этих проблем существует ряд задач, связанных с администрированием уже существующих ресурсов вуза. К ним относятся: предотвращение сбоев в программном обеспечении серверных платформ, выполнение резервного копирования, организация экспериментальных и тестовых работ с новым программным обеспечением, а также организация информационной безопасности ИТ-инфраструктуры образовательной организации в целом.

До разработки систем виртуализации единственное решение было связано с приобретением нового оборудования, даже в случае неполного использования аппаратных ресурсов уже существующих серверных платформ. Однако такой подход не всегда возможен, поэтому целесообразным считается использование систем виртуализации.

Применение систем виртуализации имеет следующие преимущества:

- Экономия аппаратных ресурсов серверного оборудования.
- Безопасность работы информационной системы.
- Возможность организации распределения аппаратных ресурсов.
- Отсутствие взаимного влияния программ при одновременной работе на одном сервере.
- Организация балансировки нагрузки на несколько сервисов.
- Способность к миграции сервиса на другую аппаратную платформу.
- Наличие возможности проводить тестовую и экспериментальную работы при разработке новых сервисов.

Существуют различные по своей технике системы виртуализации, позволяющие организовать одновременное использование гостевых операционных систем на одной

физической платформе с применением операционной системы Linux. Необходимо определить типы систем виртуализации для их дальнейшего использования в информационной системе вуза. Такой подбор позволяет более эффективно использовать имеющиеся аппаратные ресурсы в информационной системе, а также реализовать все преимущества технологии виртуализации.

Основная часть

Применение систем виртуализации в информационной системе высшего учебного заведения позволяет развернуть множество сетевых сервисных служб на одной или нескольких серверных платформах. Система виртуализации представляет собой программное обеспечение, функционирующее в составе операционной системы с модифицированным или немодифицированным ядром, в результате есть возможность запуска нескольких операционных систем, при этом каждой гостевой операционной системе выделяется необходимое количество логических ресурсов (процессорное, оперативной памяти, порты ввода и вывода, объем дискового хранилища), т.е. тех ресурсов, которые ограничены конфигурацией аппаратной платформы используемого сервера.

Существует несколько принципов функционирования систем виртуализации: полная виртуализация, паравиртуализация, изоляция на уровне операционной системы. Они различаются уровнем распределения ресурсов и изоляции от других сеансов виртуализации, а также степенью модифицированности использованного ядра Linux.

Процессоры Intel имеют аппаратную поддержку технологии виртуализации VT, которая может обеспечивать аппаратную поддержку виртуализации, и это приводит к повышению производительности вычислительной платформы. Поэтому при выборе процессора для платформы виртуализации необходимо обеспечить поддержку такой технологии.

В универсальных операционных системах Linux, таких, например, как CentOS6, CentOS7, обеспечивается поддержка следующих типов виртуализации:

- аппаратной виртуализации (KVM);
- виртуализации уровня операционной системы (OpenVZ, LXC);
- паравиртуализации (Xen).

В вузах используются аппаратная виртуализация и уровни операционной системы, что позволяет на четырех физических серверах создать серверную платформу, обеспечивающую надежную и бесперебойную работу сервисных служб, таких, как электронная почта, Интернет-сайты, электронная библиотека, файловый сервер, электронные курсы. На рис. 1 показан список машин, развернутых на уровне виртуализации операционной системы.

Используя аппаратную виртуализацию на базе KVM, можно развернуть следующие информационные сервисы: файловый сервис на основе SAMBA-сервера, электронную библиотечную систему DSPACE; сервер каталога OpenLDAP; Интернет-сайт на основе CMS Joomla и сервер аутентификации, авторизации FreeRadius. На рис. 2 показан список машин на уровне аппаратной виртуализации.

Используя виртуализацию уровня операционной системы, создают виртуальные машины для размещения Интернет-сайтов вуза (электронные научные журналы, сайты приемной комиссии, центра трудоустройства, антитеррористической направленности, ftp-сервер). Все эти виртуальные машины функционируют под управлением ОС CentOS 6.9. В качестве программного обеспечения для дополнительных Интернет-сайтов применяются CMS Plone и Joomla.

Такое распределение виртуальных машин позволяет обеспечить максимальную их производительность, а также исключить их влияние друг на друга. Использование системы OpenVZ обеспечивает изоляцию и динамическое выделение ресурсов физического сервера, что идеальным образом подходит для создания пула Интернет-сайтов.

```
[root@dell6 ~]# vzlist -a
Warning at /etc/vz/conf/5112.conf:48: duplicate for ONBOOT ("yes"), ignored
Warning at /etc/vz/conf/5113.conf:59: duplicate for ONBOOT ("yes"), ignored
Warning at /etc/vz/conf/5128.conf:48: duplicate for ONBOOT ("yes"), ignored
CTID      NPRPROC  STATUS   IP_ADDR  HOSTNAME
1004      37       running  192.168.5.4  nginx.pguas.local
5100      -        stopped  192.168.5.100 web.pguas.local
5101      87       running  192.168.5.101 mail.pgasa.local
5105      37       running  192.168.5.105 rais.pguas.local
5109      31       running  192.168.5.109 dissovet.pgasa.local
5112      30       running  192.168.5.112 priem.pgasa.local
5113      -        stopped  192.168.5.113 antiterror.pgasa.local
5114      78       running  192.168.5.114 dof.pgasa.local
5115      15       running  192.168.5.115 vpn.pgasa.local
5116      40       running  192.168.5.116 do_new.pgasa.local
5117      19       running  192.168.5.117 files.pgasa.local
5119      19       running  192.168.5.119 ftp.pgasa.local
5120      24       running  192.168.5.120 abiturent.pgasa.local
5121      -        stopped  192.168.5.121 regiovuz.pgasa.local
5122      20       running  192.168.5.122 test.pgasa.local
5123      30       running  192.168.5.123 mysql_gr.pgasa.local
5124      24       running  192.168.5.124 mechanins.pgasa.local
5126      35       running  192.168.5.126 test2.pgasa.local
5127      24       running  192.168.5.127 vestnikpguas.pgasa.local
5128      29       running  192.168.5.128 priemtest.pgasa.local
5129      31       running  192.168.5.129 trud.pguas.local
5130      36       running  192.168.5.130 do_test.pgasa.local
5999      -        stopped  192.168.5.100 web.pguas.local
[root@dell6 ~]#
```

Рис. 1. Виртуальные машины на основе OVZ

```
[root@dell-r710 ~]# virsh list
ID      Имя                               Статус
-----
1       cloud2.pguas.local                работает
7       samba.pguas.local                 работает
8       samba-app.pguas.local             работает
9       radius.pguas.local                работает
18      web.pguas.local                   работает
21      elibrary.pguas.local              работает
25      ldap.pguas.local                  работает
```

Рис. 2. Виртуальные машины на основе KVM

Уровень полной аппаратной виртуализации KVM применяется для размещения серверов, которым необходима максимальная производительность и к которым предъявляются высокие требования к ресурсам. Кроме того, KVM обеспечивает выделение и закрепление за каждым сервером необходимых аппаратных средств физического сервера, что исключает их неработоспособность по причине перераспределения ресурсов в пользу другой виртуальной машины.

В ПГУАС в качестве базовой операционной системы выбрана OpenVZ7, на которую были мигрированы существующие виртуальные машины с платформы OpenVZ6, которая, в свою очередь, использовалась как базовая платформа виртуализации. При внедрении технологии KVM была применена ОС CentOS 7. Но полный переход невозможен, так как отсутствует модифицированное ядро для запуска виртуальных машин OVZ. На рис. 3 показано одновременное использование различных типов виртуализации на базе ОС OpenVZ 7.

```
[root@localhost ~]# virsh list
ID      Имя                Статус
-----
4       web-int.pgvas.local работает

[root@localhost ~]# vzlist -a
CTID    NPROC STATUS   IP_ADDR      HOSTNAME
5105    - suspended 192.168.5.105 rais.pgvas.local
5113    38 running  192.168.5.113 antiterror.pgasa.local
5114    - stopped  192.168.5.114 dof.pgasa.local
5115    - stopped  192.168.5.115 vpn.pgasa.local
5119    - stopped  192.168.5.119 ftp.pgasa.local
5121    13 running  192.168.5.121 regionvuz.pgasa.local
5122    - stopped  192.168.5.122 test.pgasa.local
5123    - stopped  192.168.5.123 mysql_gr.pgasa.local
5124    - stopped  192.168.5.124 mechanins.pgasa.local
5126    - stopped  192.168.5.126 test2.pgasa.local
5127    - stopped  192.168.5.127 vestnikpgvas.pgasa.local
5128    - stopped  192.168.5.128 priemtest.pgasa.local
5129    - stopped  192.168.5.129 trud.pgvas.local

[root@localhost ~]#
```

Рис. 3. Виртуальные машины ОС OpenVZ7

Появление ОС OpenVZ7 позволило создать единую, одинаковую платформу на всех серверах для запуска виртуальных машин с полной виртуализацией и изоляцией на уровне виртуальных машин. Она базируется на ядре RHEL 7 (3.10), которое поддерживается производителями серверного оборудования. Кроме того, OpenVZ 7 обладает лучшими возможностями по осуществлению живой миграции, управления виртуальными машинами и контейнерами с помощью свободной реализации унифицированной API для управления виртуализацией libvirt.

В ПГУАС все серверы переведены на ОС OpenVZ 7, что позволило обеспечить надежную и стабильную работу информационных сервисов, возможность создания новых виртуальных серверов, их резервное копирование и живую миграцию в виртуальных машинах с различными типами виртуализации в пределах одной операционной системы.

В ы в о д ы :

1. Показана возможность создания единой серверной платформы с применением технологии виртуализации в информационной системе вуза.

2. Виртуальные машины позволяют использовать оборудование более экономично, разделяя ресурсы на несколько сетевых сервисов одновременно.

3. Определена операционная система, OpenVZ7, для использования в рамках единой платформы виртуализации с возможностью живой миграции и единой системой управления для различных видов виртуализации.

Список литературы

1. Таненбаум, Э.С. Современные операционные системы / Э.С. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2010. – 1116 с.
2. Сафонов, В.О. Основы современных операционных систем / В.О. Сафонов. – М.: ИНТУИТ, 2011. – 352 с.

References

1. Tanenbaum, E.S. Modern operating systems / E.S. Tanenbaum. – St. Petersburg : Peter, 2010. – 1116 p.
2. Safonov, V.O. The fundamentals of modern operating systems / V.O. Safonov. – M.: INTUIT, 2011. – 352 p.