

**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 19.09.2017.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 24,625. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 867.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ
АРХИТЕКТУРА
И СТРОИТЕЛЬСТВО**
3(32)/2017

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....	5
Гаврилов М.А., Ерофеев В.Т., Худяков В.А. ПЛАСТИЧНО-ВЯЗКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ.....	5
Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Абсиметов М.В., Когут Е.В. К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГАЗОБЕТОНА.....	11
Кудрявцев П.Г., Фиговский О.Л. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ТЕРМОСТОЙКИЕ АДГЕЗИВЫ	21
Максимова И.Н. СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ БЕТОНОВ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ОСЕВОМ СЖАТИИ	29
Максимова И.Н. СОПОСТАВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ И РАБОТЫ РАЗРУШЕНИЯ	39
Данилов А.М., Гарькина И.А. ИДЕНТИФИКАЦИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ: СЛУЧАЙ КРАТНЫХ КОРНЕЙ	46
Логанина В.И., Кислицына С.Н., Мажитов Е.Б. РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ЗОЛЬ- СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ.....	51
Данилов А.М., Гарькина И.А. ФУНДАМЕНТАЛИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПОЗИТОВ.....	54
Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Авдонин В.В., Пильщиков В.О., Аникина Н.С. ПОЛИМЕРНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ.....	59
Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Авдонин В.В., Пильщиков В.О., Аникина Н.С. ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИКАЦИИ НА ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	68

© Авторы публикаций, 2017

© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2017

© ПГУАС, 2017

Береговой В.А., Егунов Д.А., Сорокин Д.С. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА 75	Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Шеин А.И., Князев В.А. НОВАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТРУБЧАТОГО СМЕСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА..... 136
Логанина В.И., Фролов М.В. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВ- НОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯ- ЦИОННЫХ ОТДЕЛОЧНЫХ СОСТАВОВ 80	Чертес К.Л., Мартыненко Е.Г., Сафонова Н.А., Гришин Б.М. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ШЛАМОВЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕД ИХ УТИЛИЗАЦИЕЙ В СТРОИТЕЛЬНО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ..... 143
Коровкин М.О., Гринцов Д.М. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ В БЕТОНАХ С НИЗКИМ РАСХОДОМ ЦЕМЕНТА 84	Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Шеин А.И., Князев В.А. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА МАССОПЕРЕДАЧИ В ОБЪЕМЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ДВУХФАЗНОЙ СМЕСИ «ВОДА – ВОЗДУХ» 152
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ 88	Кучеренко М.Н., Сизенко О.А., Лелонд О.В., Бикуннова М.В., Ежов Е.Г. РАЗРАБОТКА РЕЖИМНОЙ КАРТЫ РАБО- ТЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ В МНОГО- КВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМАХ 160
Селяев В.П., Селяев П.В., Сорокин Е.В., Шабаев И.Н. ГЕНЕЗИС ТРЕЩИН В ПРОЦЕССЕ НАГРУЖЕНИЯ ПРИЗМ ИЗ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА СЖИМАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ ... 88	Усачев А.П., Шурайц А.Л., Салин Д.В., Усуев З.М., Хомутов А.О. ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ И РАЗРА- БОТКА ГАЗОВЫХ ФИЛЬТРОВ С ЦИЛИН- ДРИЧЕСКИМИ ФИЛЬТРУЮЩИМИ ЭЛЕ- МЕНТАМИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ И ТОН- КОЙ ОЧИСТКИ, РАЗМЕЩАЕМЫМИ В ОДНОМ КОРПУСЕ 165
Шеин А.И., Зайцев М.Б., Зернов В.В., Зернов И.В. НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ И РЕГЛАМЕНТЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ НАДЁЖНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. 94	АРХИТЕКТУРА..... 172
Береговой А.М., Береговой В.А. ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОЕ СОСТОЯНИЕ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВЛАГИ И АГРЕССИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ СРЕДЫ 99	Петрянина Л.Н. РЕКОНСТРУКЦИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ОПОРНОГО ГОРОДСКОГО ФОНДА КАК НАПРАВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА 172
Комаров В.А., Болдырева О.В. ПРОЧНОСТЬ СЖАТЫХ ПОЛОС БЕТОНА КОНСОЛЬНЫХ ОПОР РИГЕЛЕЙ С ПОДРЕЗКОЙ 105	Рыбакова Е.Ю. СОВРЕМЕННЫЙ БЕРЛИН. ПРИБЛИ- ЖЕНИЕ К МОДЕЛИ «ЕВРОПЕЙСКОГО ГОРОДА» 177
Вдовин В.М., Карпов В.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОГО КАРНИЗНОГО УЗЛА МАНСАРДНОЙ РАМЫ НА ВКЛЕЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ШАЙБАХ... 112	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ 183
Нежданов К.К., Гарькин И.Н. ПОДКРАНОВАЯ БАЛКА С ПОВЫШЕН- НЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ РЕСУРСОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ 119	Резник С.Д., Вдовина О.А. ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ В СТРОИТЕЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ 183
Арискин М.В., Гарькин И.Н. УСЛОВИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЗЛОВОГО КРАНА ПРИ СЕЙСМИЧЕ- СКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ..... 123	Учаева Т.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАЕМНЫХ СРЕДСТВ КАК ФАКТОР УЛУЧШЕНИЯ ФИНАНСОВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕДПРИЯТИЯ 191
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ 128	
Кошев А.Н., Варенцов В.К. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗООБ- РАЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В ПРОТОЧНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОДАХ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ..... 128	

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	5	Korovkin M.O., Grintsov D. M. IMPROVING THE EFFICIENCY OF SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETES WITH LOW CEMENT CONSUMPTION.....	84
Gavrilov M.A., Erofeev V.T., Hudjakov V.A. PLASTIC AND VISCOUS PROPERTIES OF MODIFIED EPOXY COMPOSITES	5	BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS	88
Lesovik V.S., Elistratkin M.Yu., Absimetov M.V., Kogut E.V. TO THE QUESTION OF HIGH-STRENGTH AERATED CONCRETE PRODUCTION	11	Selyaev V.P., Selyaev P.V., Sorokin E.V., Shabaev I.N. THE GENESIS OF CRACKS DURING LOADING PRISMS FROM CEMENT CONCRETE BY COMPRESSIVE LOAD	89
Kudryavtsev P.G., Figovsky O.L. INORGANIC HEAT-RESISTANT ADHESIVES	21	Shein A.I., Zaytsev M.B., Zernov V.V., Zernov I.V. LEGAL DOCUMENTS AND REGULATIONS IN ENSURING RELIABILITY OF BUILDINGS AND STRUCTURES.....	94
Maksimova I.N. STRUCTURAL CHANGES OF SANDY CONCRETE WITH SHORT-TERM AXIAL COMPRESSION.....	29	Beregovoy A.M., Beregovoy V.A. TEMPERATURE-MOISTURE STATE OF EXTERNAL ENCLOSURE STRUCTURES IN THE CONDITIONS OF PHASE TRANSITIONS OF MOISTURE AND AGGRESSIVE IMPACT OF THE ENVIRONMENT	99
Maksimova I.N. COMPARISON OF SHORT-TERM CREEP DEFORMATIONS AND WORK OF DESTRUCTION	39	Comarov V.A., Boldyreva O.V. STRENGTH OF COMPRESSED STRIPS OF CONCRETE CANTILEVER SUPPORTS OF GIRDERS WITH TRIMMING	105
Danilov A.M., Garkina I.A. IDENTIFICATION OF KINETIC PROCESSES FORMING THE PROPERTIES OF COMPOSITES: A CASE OF BACK ROOTS	46	Vdovin V.M., Karpov V.N. RESEARCH OF RIGID CORNICE JOINT OF A MANSARD FRAME ON GLUED STEEL WASHERS	112
Loganina V.I., Kislitsyna S.N., Mazhitov E.B. DEVELOPMENT OF FORMULATION ZOLSILICATE PAINT	51	Nezdanov K.K., Garkin I.N. CRANE BEAM WITH INCREASED TECHNICAL RESOURCE.....	119
Danilov A.M., Garkina I.A. FUNDAMENTALIZATION OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE IN COMPOSITES DESIGNING	54	Ariskin M.V., Garkin I.N. CONDITIONS FOR THE USE OF A GANTRY CRANE UNDER SEISMIC ACTION	123
Cherkasov V.D., Yurkin Y.V., Avdonin V.V., Pilshikov V.O., Anikina N.S. POLYMERIC BINDERS FOR PRODUCTION VIBRATION ABSORBING MATERIALS....	59	ENGINEERING SYSTEMS.....	128
Cherkasov V.D., Yurkin Y.V., Avdonin V.V., Pilshikov V.O., Anikina N.S. THE EFFECT OF PLASTICIZATION ON DAMPING CHARACTERISTICS OF POLYMERIC MATERIALS.....	68	Koshev A.N., Varentsov V.K. MODELING THE PROCESS OF GENERATION HYDROGEN IN 3D-POROUS ELECTRODES AT ELECTRODEPOSITION OF METALS	128
Beregovoi V.A., Egunov D.A., Sorokin D.S. CONSTRUCTION MATERIALS AND BINDINGS ON THE BASIS OF HYDROLYTIC LIGNIN	75	Andreev S.Yu., Garkina I.A., Shein A.I., Knyazev V.A. NEW METHOD OF DEFINITION OF RATIONAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF TUBULAR MIXING DEVICE.....	136
Loganina V.I., Frolov M.V. EVALUATION OF ECONOMIC EFFICIENCY OF HEAT-INSULATING OF GLASS HOLLOW MICROSPHERES AND ASH ALUMINOSILICATE MICROSPHERES COMPOSITIONS USE	80		

Chertes K.L., Martynenko E.G., Safonova N.A., Grishin B.M. COMPARATIVE ANALYSIS OF DEHYDRATION OF SLIME WASTES BEFORE THEIR UTILIZATION IN CONSTRUCTIVE ACTIVITY.....	143	ARCHITECTURE	172
Andreev S.Yu., Garkina I.A., Shein A.I., Knyazev V.A. THEORETICAL BASIS OF MASS TRANSFER PROCESS IN THE VOLUME OF DYNAMIC TWO-PHASE MIXTURE “WATER-AIR”	152	Petryanina L.N. QUESTIONS OF RECONSTRUCTION OF RESIDENTIAL BUILDINGS OF THE HOUSING STOCK AS A DIRECTION OF MODERN URBAN CONSTRUCTION	172
Kucherenko M.N., Sizenko O.A., Lelond O.V., Bikunova M.V., Ezhov E.G. THE MODE CARD DEVELOPMENT OF VENTILATION SYSTEMS WORK IN MULTI-APARTMENT DWELLING HOUSES	160	Rybakova E.Y. MODERN BERLIN. APPROXIMATION TO THE «COMPACT CITY CONCEPT».....	177
Usachev A.P., Shuraitis A.L., Salin D.V., Usuev Z.M., Homutov A.O. JUSTIFICATION OF USE AND DEVELOPMENT OF GAS A FILTER WITH A CYLINDRICAL FILTERRING ELEMENT OF PRELIMINARY AND FINE CLEANING PLACED IN ONE BODY	165	ECONOMICS AND MANAGEMENT..	183
		Reznik S.D., Vdovina O.A. EXPERIENCE AND PERSPECTIVES OF PEDAGOGICAL TRAINING AND PROFESSIONAL IMPROVEMENT OF UNIVERSITY TEACHERS	183
		Uchaeva T.V. BORROWED FUNDS AS A FACTOR OF IMPROVING THE FINANCIAL POSITION OF AN ENTERPRISE.....	191

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.342:620.178.2

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ПЛАСТИЧНО-ВЯЗКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

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

Рассмотрены технологические свойства образцов композитных материалов на основе эпоксидной смолы с применением отходов строительного и химического производств. Исследованы вязкость и компонентная смачиваемость модифицированных эпоксидных композитов. Обосновано применение пластифицирующих добавок для удобоукладываемости и формования смесей.

Ключевые слова: эпоксидный композит, полимерные связующие, технологические свойства, модификация, пластификатор

PLASTIC AND VISCOUS PROPERTIES OF MODIFIED EPOXY COMPOSITES

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

Technological properties of epoxy composite materials the basis of constructional and chemical waste have been reviewed. Viscosity and component wettability of modified epoxy composites have been researched. The use of plasticizing additives for improving mixtures forming has been justified.

Keywords: epoxy composite, polymer binders, technological properties, modification, plasticizer

Одной из первостепенных задач при подборе составов материалов является улучшение пластично-вязких свойств полимерных связующих путем их модификации [1, 2, 3, 5]. Эта задача еще более важное значение приобретает для высоконаполненных эпоксидных композитов, так как эпоксидная смола марки ЭД-20 представляет собой низковязкую ньютоновскую жидкость со значением динамической вязкости при температуре 20°C, равным 12-25 Па·с. Динамическая вязкость связующего при высокой степени наполнения создает определенные трудности при приготовлении и формовании смесей. В связи с этим осуществлялась модификация эпоксидной смолы кремнийорганическим лаком КО-922 в присутствии асбестосодержащих наномодификаторов.

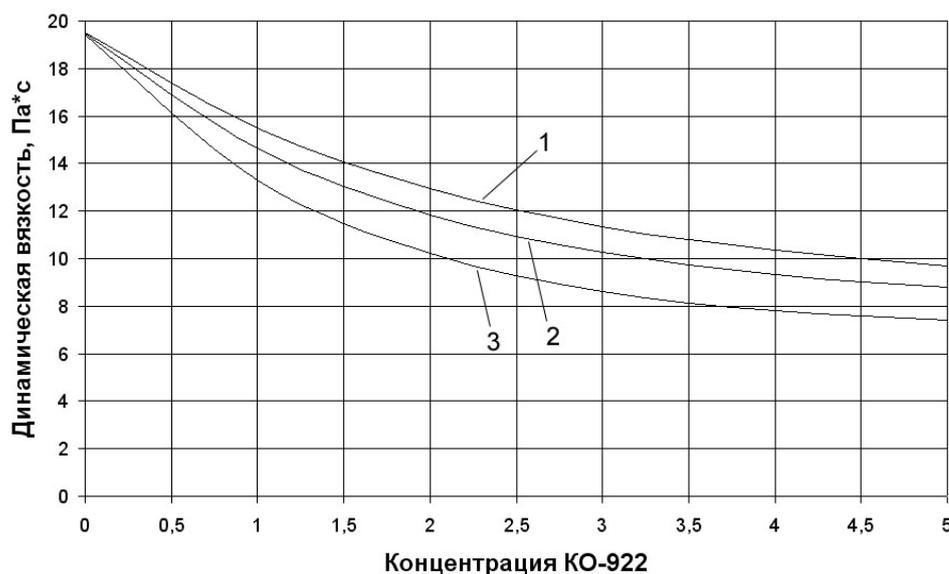


Рис. 1. Зависимость показателя динамической вязкости от содержания КО-922:

1 – состав на основе ВОХП; 2 – состав на основе серпентина; 3 – состав на основе ТДОСП

Анализ экспериментальных данных показал, что КО-922 оказывает пластифицирующее действие на ПКМ. Зависимость носит ярко выраженный характер. Снижение динамической вязкости составов при максимальных концентрациях данной добавки составляет от 48 до 61 %. Проведенные на рис. 1 закономерности объясняются исходя из современного представления о строении полимеров. Эпоксидные полимеры обладают статической клубкообразной конформацией с сильным переплетением цепей на молекулярном уровне. При введении в смолу небольшого количества КО-922 уменьшаются силы трения между клубками и отдельными молекулами эпоксидного олигомера, что приводит к резкому снижению динамической вязкости. При дальнейшем увеличении концентрации КО-922 происходит образование агрегатов из эпоксидных олигомеров и добавки. При этом замедляется нарастание пластичности эпоксидной смолы. Дальнейшее увеличение концентрации КОЖ в связующем приводит к эффективной межпачечной пластификации, что сопровождается дальнейшим снижением динамической вязкости системы. Необходимо отметить, что при условии равенства показателя степени наполнения для всех составов (в данном случае П/Н = 1/10)

определяющее влияние на подвижность смеси оказывает удельная поверхность наполнителя, которая составляет: для ТДОСП – 4,39 м²/кг, для ВОХП – 10,31 м²/кг, для серпентина – 7,62 м²/кг.

Оптимальная концентрация КО-922 [5] способствует образованию дополнительных поперечных связей в полимерной матрице. В то же время добавка КО-922 способствует физико-механическому взаимодействию на границе раздела фаз, что в конечном счете приводит к ускорению отверждения связующего и улучшению физико-механических свойств. Пластифицирующий эффект от введения максимальных концентраций КОЖ объясняется тем, что они оказывают разрушающее действие на крупные надмолекулярные образования в эпоксидной матрице, что приводит к образованию более мелких кластеров за счет снижения энергетического потенциала на их поверхности [5]. Кроме того, модификация эпоксидной смолы КОЖ позволяет либо сократить расход дорогого полимерного связующего, либо увеличить степень наполнения композитов. Последнее является необходимым условием для создания материалов с повышенными показателями стойкости к химической коррозии.

Необходимым условием для получения монолитного материала с высокими физико-механическими показателями является хорошее смачивание поверхности наполнителя полимерным связующим.

Минеральные материалы, применяемые в качестве наполнителей и заполнителей в ПКМ, обладают высокими поверхностными энергиями и смачиваются почти всеми жидкостями, в том числе и низковязкими ньютоновскими, к которым принадлежат эпоксидные смолы.

Поверхность наполнителя хорошо смачивается связующим, если силы взаимодействия на границе раздела фаз преобладают над силами межмолекулярного взаимодействия в полимерной матрице [3, 4]. С целью улучшения условий смачивания осуществляют введение в связующее ПАВ или обрабатывают специальными веществами поверхность наполнителя.

Мерой смачивания тела жидкостью является краевой угол Θ , который определяется из уравнения, подчиняющегося равенству Юнга [5]:

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_{\text{тг}} - \sigma_{\text{тж}}}{\sigma_{\text{жг}}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{тг}}$ – поверхностное натяжение на границе твердое тело – газ; $\sigma_{\text{жг}}$ – поверхностное натяжение на границе жидкость – газ; $\sigma_{\text{тж}}$ – поверхностное натяжение на границе твердое тело – жидкость; Θ – краевой угол смачивания.

Из формулы (1) следует, что если $\sigma_{\text{тг}} < \sigma_{\text{тж}}$, то $\cos \Theta < 0$ и жидкость не смачивает поверхность тела, т.е. $\Theta > 90^\circ$. Если же $\sigma_{\text{тг}} > \sigma_{\text{тж}}$, то угол смачивания $\Theta < 90^\circ$, т.е. происходит частичное смачивание. Полное же смачивание жидкостью поверхности твердого тела (или растекание) будет наблюдаться при $\Theta = 0$, т.е. когда краевой угол не будет образовываться. В этом случае $\sigma_{\text{тг}} > \sigma_{\text{тж}} > \sigma_{\text{жг}}$.

Кроме того, смачивание будет зависеть от микрорельефа поверхности тела. Угол смачивания на реальной твердой поверхности Θ_0 будет определяться из соотношения Венцеля – Дерягина:

$$\cos \Theta_0 = K_{\text{ш}} \cdot \cos \Theta, \quad (2)$$

где $K_{\text{ш}}$ – коэффициент шероховатости поверхности, равный отношению истинной площади поверхности к кажущейся, почти всегда выше 1.

Уменьшение свободной поверхностной энергии $\Delta\sigma$ при растекании, как следует из уравнения Юнга, подчиняется уравнению [5]:

$$\Delta\sigma = \sigma_{\text{жг}} (\cos \Theta - 1). \quad (3)$$

С учетом формулы (3) получим:

$$\Delta\sigma = \sigma_{\text{жг}} (K_{\text{ш}} \cdot \cos \Theta - 1). \quad (4)$$

Как видно из формулы (4), при увеличении шероховатости плохо смачиваемых поверхностей (угол Θ которых незначительно меньше 90°) можно добиться растекания жидкости по поверхности твердого тела.

Для лиофобных поверхностей ($\Theta > 90^\circ$) увеличение шероховатости приводит к обратному эффекту, т.к. возрастает абсолютное значение отрицательной величины в выражении (4).

Установление равновесного значения краевого угла замедляется за счет явления гистерезиса, которое выражается в разности значений краевого угла при натекании ($\Theta_{\text{н}}$) и оттекании ($\Theta_{\text{о}}$) жидкости, при этом всегда $\Theta_{\text{н}} \geq \Theta_{\text{о}}$ [42].

В работах [2, 5] отмечается, что на гистерезис смачивания оказывают влияние шероховатость, загрязнение поверхности тела, адсорбционное взаимодействие между телом и смачивающей жидкостью, наличие в жидкости пузырьков воздуха и других включений.

Была поставлена задача исследовать процессы смачивания полимерным связующим различных видов наполнителя – как отходов химического и строительного производств, так и природного асбестосодержащего материала. Связующее – эпоксидная смола марки ЭД-20, относящаяся к классу диановых смол (ГОСТ 10587–76), представляет собой продукт конденсации эпихлоргидрина с дифенилолпропаном в щелочной среде. Она содержит в своей цепи реакционную эпоксидную группу, которая вступает во взаимодействие с аминами, ангидридами кислот, образуя неплавкие и нерастворимые трёхмерные соединения сетчатой структуры. Эпоксидная смола марки ЭД-20 представляет собой вязкую жидкость желтого цвета с плотностью 1160-1170 кг/м³, растворимую в толуоле, ксилоле, кетонах; стойкую в воде, растворах солей, кислот и щелочей.

Смачивание поверхности наполнителей полимерными связующими затрудняется также вследствие разветвленности полимерных цепей. Поэтому для улучшения ориентации молекул полимера на границе раздела фаз, а также для снижения внутренней энергии связующего ($\sigma_{\text{жг}}$) выполняют пластификацию за счет введения ПАВ.

Пластификация эпоксидной смолы ЭД-20 осуществлялась за счет введения кремнийорганического электроизоляционного лака КО-922. Кремнийорганические лаки (КО) принадлежат к полиорганосилоксанам с углеводородными обрамляющими группами. Данные лаки устойчивы к действию кислот и щелочей. Полиметилфенилосилоксаны сохраняют эластичные свойства при 180°C в течение 2000 часов, а при 220°C – 150 часов. Высокая термостойкость этих полимеров сочетается с хорошей хладостойкостью (до $60-95^\circ\text{C}$).

Зависимости краевого угла смачивания поверхности различных видов наполнителя от вида и концентрации КО-922 приведены на рис. 2.

Как видно из результатов исследования, добавка КО-922, введенная в эпоксидную смолу, увеличивает смачиваемость наполнителя на 15-20 %. Наиболее эффективной для КО-922 является концентрация, равная 0,1-3,0 %.

Улучшение смачивания асбестосодержащих наполнителей эпоксидной смолой, модифицированной кремнийорганической добавкой КО-922, объясняется следующими причинами.

Добавка, введенная в эпоксидную смолу, снижает внутреннюю энергию связующего, что является, согласно равенству (1), необходимым условием смачивания. Кроме того, КО-922 способствует снижению вязкости эпоксидной смолы за счет взаимодействия с отдельными цепями и звеньями макромолекул. При увеличении концентрации ПАВ в олигомере это взаимодействие усиливается, что сопровождается большим пластифицирующим эффектом и, как следствие, улучшением смачиваемости наполнителя.

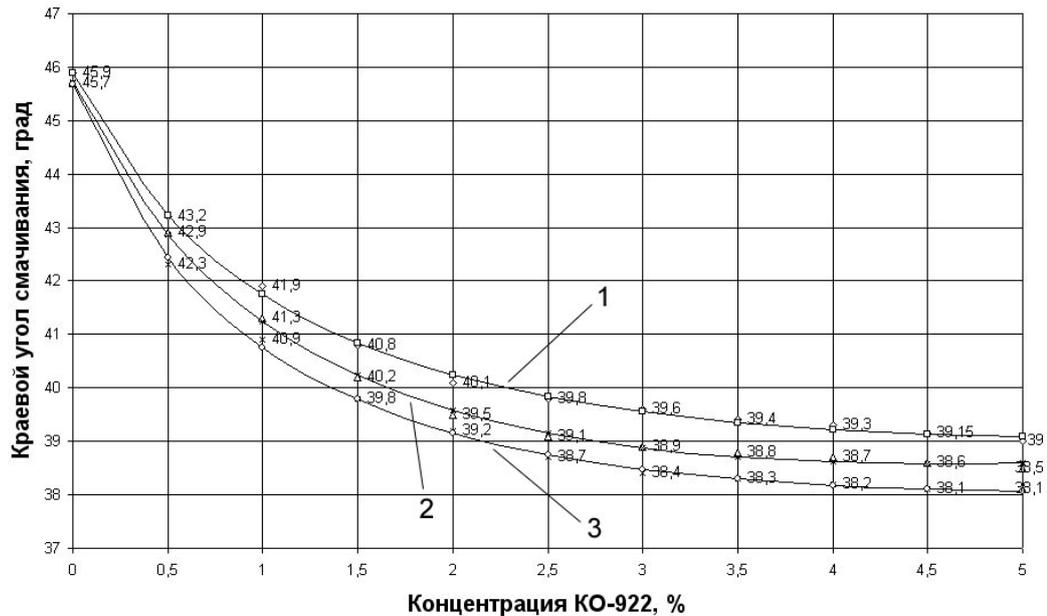


Рис. 2. Зависимость краевого угла смачивания от концентрации КО-922 для различных видов асбестосодержащих наполнителей:
1 – на основе ТДОСП, 2 – на основе ВОХП, 3 – на основе серпентина

За счет введения ПАВ в ЭД-20 усиливается также адсорбционное взаимодействие вследствие поверхностной диффузии и миграции молекул модифицированного эпоксидного олигомера. Это увеличивает число контактов на границе эпоксидная смола – наполнитель.

Выводы

1. Удобноукладываемость смесей и формование изделий на основе модифицированного полимерного связующего облегчаются с применением пластификаторов в виде кремнийорганических жидкостей.
2. Установлен характер зависимости динамической вязкости смесей от концентрации кремнийорганического пластификатора. Оптимальное содержание определено в пределах от 2,5 до 3 %.
3. Определены оптимальные значения содержания кремнийорганического пластификатора, при котором смачивание наполнителя связующим оказывает наибольшее влияние на технологические свойства материала. Наиболее эффективной концентрацией является содержание пластификатора в пределах от 0,1 до 3 %.

Список литературы

1. Гаврилов, М.А. Изучение влияния вида наполнителей на основе асбестосодержащих отходов и их содержания на технологические и механические свойства эпоксидных композитов / М.А. Гаврилов, Д.А. Губанов, В.А. Худяков, В.Т. Ерофеев // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2 (27). – С. 32–42.
2. Гаврилов, М.А. Химическое сопротивление эпоксидных композитов на основе отходов производства / М.А. Гаврилов, В.Т. Ерофеев, В.А. Худяков // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №3 (28). – С. 60–67.
3. Данилов, А.М. Разработка строительных материалов как сложных систем / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2. – С. 50–54.
4. Данилов, А.М. Структура наполненного эпоксидного связующего. Оптическая и сканирующая зондовая микроскопия / А.М. Данилов, В.П. Селяев, А.Н. Круглова // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 41–52.

5. Гаврилов, М.А. Особо плотные композиты на основе отходов производства / М.А. Гаврилов. – Пенза, 2014. – 132 с.

References

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

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

3. Danilov, A.M. Researching The Construction Materials As Complex Sytems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and engineering. – 2016. – Vol. 2. – P. 50-54.

4. Danilov, A.M. Structure of Filled Epoxy Binder. Optical and Scanning Probe Microscopy / A.M. Danilov, V.P. Selyaev, A.N. Kruglova // Regional architecture and engineering. – 2014. – Vol. 1. – P. 41–52.

5. Gavrilov, M.A. Specifically Dense Composites Based on Industrial Waste / M.A. Gavrilov. – Пенза, 2014. – 132 p.

*Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г. Шухова*

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

Лесовик Валерий Станиславович,
доктор технических наук, профессор
E-mail: naukavs@mail.ru

Елистраткин Михаил Юрьевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительное
материаловедение, изделия и конструкции»
E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru

Абсиметов Максим Владимирович,
аспирант
E-mail: absimetovmv@gmail.com

Когут Евгений Васильевич,
студент бакавриата
E-mail: zhenia.kogut@yandex.ru

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

Russia, 308012, Belgorod, 46, Kostyukov St.

Lesovik Valery Stanislavovich,
Doctor of Sciences, Professor
E-mail: NAUKAVS@MAIL.RU

Elistratkin Mikhail Yurievich,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department «Building
Material Science, Products and Structures»
E-mail: mr.elistratkin@yandex.ru

Absimetov Maxim Vladimirovich,
Postgraduate student
E-mail: absimetovmv@gmail.com

Kogut Evgeny Vasilievich,
a bachelor's student
E-mail: zhenia.kogut@yandex.ru

К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГАЗОБЕТОНА

В.С. Лесовик, М.Ю. Елистраткин, М.В. Абсиметов, Е.В. Когут

Одной из тенденций современного материаловедения является повсеместное внедрение высокопрочных материалов, которое позволяет существенно сократить расход всех видов ресурсов, снизить вес конструкций без ущерба их надёжности и долговечности. В случае с конструкциями из высокопрочных бетонов вследствие уменьшения их сечения возникают проблемы с жёсткостью и огнестойкостью. Применение во многих случаях высокопрочных ячеистых бетонов позволяет сохранить толщину сечения без перерасхода материала и усложнения конфигурации конструкции, придать им повышенные теплоизоляционные свойства, существенно повысить огнестойкость. В связи с этим осуществлены анализ и апробация основных путей повышения прочности неавтоклавного газобетона.

Ключевые слова: высокопрочные материалы, неавтоклавный газобетон, строение порового пространства, газообразователь с нормированным газовыделением

TO THE QUESTION OF HIGH-STRENGTH AERATED CONCRETE PRODUCTION

V.S. Lesovik, M.Yu. Elistratkin, M.V. Absimetov, E.V. Kogut

One of the trends in modern materials science is widespread introduction of high-strength materials, which can significantly reduce the consumption of all types of resources, reduce the weight of structures without compromising their reliability and durability. In case of structures made from high-strength concrete due to the reduction of their cross-section there are problems with rigidity and fire resistance. In many cases the use of high-strength cellular concrete allows to maintain the thickness of the section without overspending the material and complicating the configuration of the structure, giving them increased thermal insulation properties, significantly improve fire resistance. In this connection, the analysis and approbation of the main ways of increasing the strength of non-autoclaved aerated concrete was carried out.

Keywords: high-strength materials, non-autoclaved aerated concrete, pore space structure, gas-forming additive with normalized gas evolution

Повышение уровня прочности строительных материалов в большинстве случаев позволяет расширить круг и повысить эффективность решаемых с их помощью задач, снизить их энергоёмкость в пересчёте на единицу прочности, увеличить долговечность и некоторые другие эксплуатационные показатели. Классическими примерами могут служить обоснованное применение высокопрочных сталей взамен обычных, использование высокопрочных бетонов вместо традиционных металлических или железобетонных конструкций [1-3]. Дополнительные затраты, связанные в подобных случаях с необходимостью использования высококачественных сырьевых материалов и эффективных добавок, повышения технического уровня и культуры производства, проведения комплекса исследований и проектных работ, обосновывающих возможность и целесообразность отхода от общепринятых подходов, как правило, с лихвой окупаются. И, если приведённые в качестве примеров решения, несмотря на все трудности пути из лабораторий на стройплощадки, не раз подтвердили свою эффективность, то целесообразность существенного повышения прочности ячеистых бетонов на первый взгляд не вполне очевидна.

Промышленно выпускаемые на данный момент ячеистые бетоны при средней плотности 400...700 кг/м³ имеют прочностные показатели от 1 до 3...4 МПа, причём нижняя граница прочностного диапазона скорее характерна для неавтоклавных пенобетонов, а верхняя – для газосиликата. Определённое повышение прочности подобных материалов в данном диапазоне плотностей возможно, но по большому счёту не требуется ввиду её достаточности для их ниши применения. Большинство разработок в данной области направлено на снижение себестоимости и повышение стабильности качества.

В связи с этим, говоря о ячеистых бетонах повышенной прочности, на наш взгляд, следует рассматривать диапазон более высоких плотностей – 800...1000 кг/м³ и в качестве целевого устанавливать уровень прочности 10...15 МПа и более в перспективе. Подтверждением принципиальной возможности получения материалов гидратационного твердения с подобными характеристиками могут служить отдельные виды лёгких бетонов на пористых заполнителях [4-6].

Более существенное повышение плотности также не целесообразно, поскольку ощутимо падает эффект снижения собственного веса конструкций и возникает сильная конкуренция со стороны традиционных лёгких бетонов на пористых заполнителях. Выполнение же указанных требований при сохранении стоимости, сопоставимой с обычными, позволит использовать высокопрочные ячеистые бетоны в качестве лёгких конструкционных материалов, существенно расширив область их применения:

- самонагруженные пролётные пространственные конструкции с улучшенными тепло- и шумоизоляционными характеристиками и огнестойкостью;
- внутреннее, воспринимающее нагрузки и придающее жесткость заполнение трубчатых и коробчатых конструкций из высокопрочных сталей, пластмасс и других эффективных конструкционных материалов;
- несущие противопожарные перегородки;
- не создающие осколков ограждающие конструкции лёгких защитных сооружений против кинетических боеприпасов;
- интегрированные силовые элементы конструкций, создаваемых с помощью 3D-аддитивных технологий (строительной печати) [7].

Эффективность практического применения материала в намеченных областях в значительной степени будет зависеть от уровня достигнутых показателей. В связи с этим возникает необходимость установления отправной точки и анализа путей повышения прочности ячеистых бетонов.

В качестве базовой системы, на наш взгляд, наибольший интерес представляет именно неавтоклавный газобетон. Технология газосиликата имеет большие ограничения со стороны автоклавной обработки на размер и форму изделий, полностью исключает их монолитное изготовление. Неавтоклавная пенотехнология за 10 лет бума в конце 1990-х – начале-середине 2000-х так и не вышла на высокие показатели физико-механических свойств, хотя в наибольшей степени является пригодной для монолитного строительства.

Неавтоклавный газобетон, имея сопоставимые с газосиликатом показатели прочности, свободен от ограничений, связанных с условиями твердения. Основой материала является портландцемент, по вопросам применения которого для самых различных целей накоплена огромная база знаний.

Особенность проведения исследований неавтоклавных газобетонов заключается в необходимости решения двух равнозначных и равнотрудных задач: формирования качественной пористой структуры материала и обеспечения должного уровня прочности и долговечности. Причём их решение, как правило, производится в указанной последовательности, а факторы, положительно влияющие на решение первой задачи, могут любым образом (отрицательно, положительно или нейтрально) сказываться на решении второй. В этой связи на подготовительном этапе исследований была отработана лабораторная технология получения неавтоклавных газобетонов и разработана необходимая технологическая оснастка.

Так, в качестве минеральной основы материала хорошо показали себя композиционные вяжущие, состоящие из 60 % (масс) портландцемента и 40 % минеральных добавок. Получение вяжущих производилось как совместным помолом, так и смешиванием товарного портландцемента с минеральным порошком с удельной поверхностью 500 м²/кг. Как показала практика, последний способ является более технологичным и гибким при проведении исследований [8-11].

В качестве компонентов минеральных порошков применялись в различных пропорциях кремнезёмсодержащие материалы – отходы дробления кварцито-песчаников (Белгородская обл.) и диоритовых порфиритов (Республика Крым), а также карбонатные материалы – известняки различных месторождений (Республика Крым), мел (Белгородская обл.).

Сверх 100 % в смесь вводились полуводный гипс, гидроксид натрия, газообразователь ПАП-1, суперпластификатор СП-1. Количество указанных добавок, по возможности, сохранялось постоянным для сопоставимости результатов. Выбор полуводного гипса обусловлен его большей доступностью при потенциальном внедрении результатов, по сравнению с гипсовым камнем, и высокой дисперсностью, исключающей необходимость его помола в составе вяжущего. Отказ от извести в пользу каустической соды также обусловлен дополнительными сложностями введения первой в состав смеси, колебаниями свойств у разных производителей, плохой совместимостью с суперпластификаторами и, в некоторых случаях, негативным влиянием на структуру материала [12-14].

Затворение смесей производилось горячей водой для обеспечения температуры на момент заливки 38...40°С. В/Т исходных составов было принято на уровне 0,43. Следует учитывать, что порядок ввода компонентов (не раскрывается умышленно) оказывает очень большое влияние на конечный результат. Разработанная лабораторная технология:

- обеспечивает стабильное получение материала с хорошей однородной структурой, плотностью 600...650 кг/м³ и прочностью (при твердении в воздушно-влажных условиях) 2...2,5 МПа (7 сут), 3...3,5 МПа (28 сут);
- отличается высокой гибкостью при большом запасе стабильности по формированию требуемой пористой структуры, т.е. допускает варьирование большинства факторов без существенного влияния на среднюю плотность (дозировка количества газообразователя – одно из немногих исключений);
- имеет запас по экстенсивному повышению прочности за счёт увеличения содержания клинкерной части;
- позволяет регулировать среднюю плотность в пределах 400...1200 кг/м³ за счёт изменения дозировки газообразователя;
- максимально учитывает требования переноса полученных лабораторных результатов в реальное производство.

Опираясь на базовые положения строительного материаловедения и бетоноведения [16-18], с учётом специфики неавтоклавного газобетона провели анализ факторов повышения прочности материала (рис. 1).

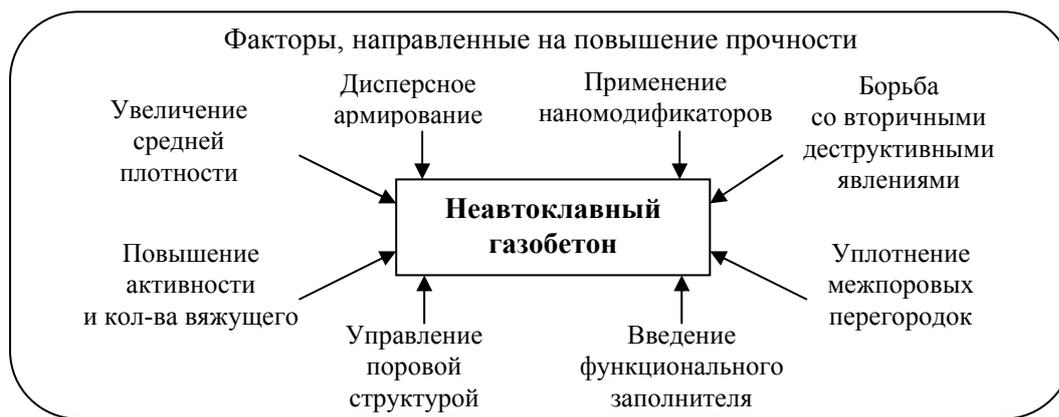
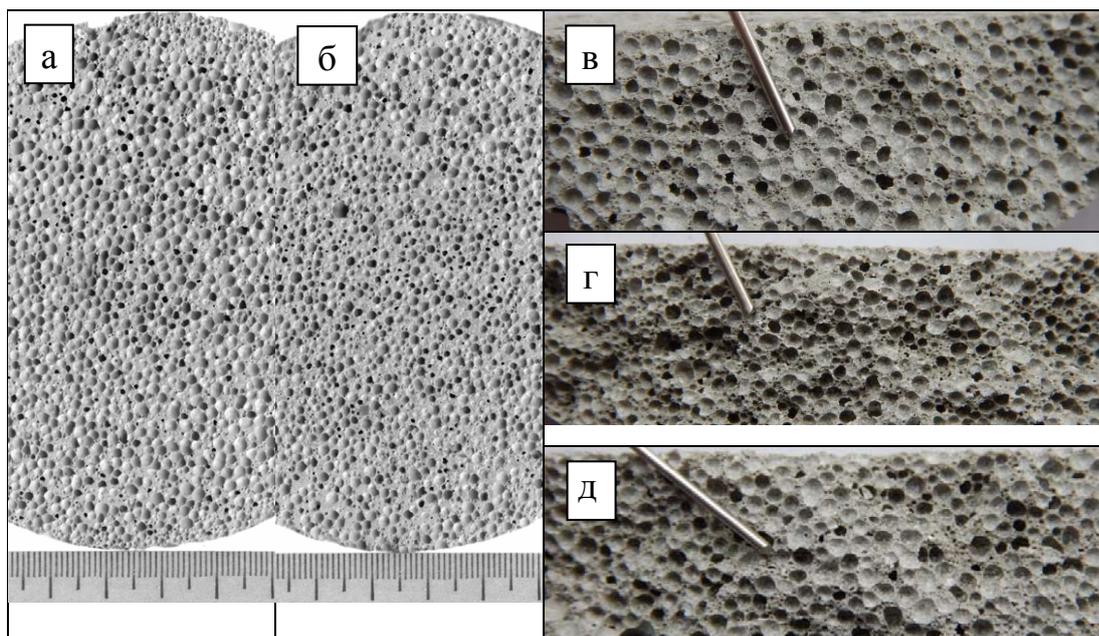


Рис. 1. Основные пути повышения прочности газобетона

Переход на повышенную марку по плотности за счёт сокращения расхода газообразователя с 0,1 до 0,067 % (от массы композиционного вяжущего) и, как следствие, снижения объёма выделившегося газа при прочих равных условиях обеспечил прирост прочности в 1,45...1,5 раза. Обращает на себя внимание изменение характера строения порового пространства, заключающееся в утолщении межпоровых перегородок и насыщении их мелкими моноразмерными порами (рис. 2, б, в). Данные поры, вероятно, являются сохранившимися первичными (образованными единичной частицей газообразователя) и не претерпевшими слияния в конечные. Их наличие нежелательно, поскольку они уменьшают рабочее сечение межпоровых перегородок.



Цена деления 1 мм (а, б); диаметр иглы 1,8 мм (в, г, д)

Рис. 2. Макроструктура:

а – шлиф, базовый состав №1; б – шлиф, состав №2; в – излом, состав №2;
г – излом, состав №4; д – излом, состав №3

Кратность слияния первичных пор и, как следствие, их итоговый размер зависят от ряда факторов: дисперсности и зернового состава твёрдой фазы, водосодержания смеси и её реологических характеристик, наличия добавок и условий вспучивания массы, что затрудняет целенаправленное получение требуемой структуры [19-22]. В качестве инструмента прямого регулирования характеристик порового пространства был разработан и опробован экспериментальный газообразователь, представляющий собой пористые гранулы, содержащие определённое количество алюминиевого поро-

шка, рассчитанное на формирование одной поры. Объем формируемой поры в данном случае зависит от размеров частиц, т.е. фракции, применяемого гранулированного газообразователя (далее – ГГО). Возможно также управление размером формируемых пор за счёт применения одинаковых фракций ГГО, содержащих различное количество металлического алюминия. Структура полученного материала представлена на рис. 2 (г, д).

Зависимость показателей материала от различных факторов

№	Описание состава	$\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³	$R_{\text{сж}}^7$, МПа	$R_{\text{сж}}^{28}$, МПа	ККК ²⁸
1	Исходный состав (ПАП-1, 0,1 % от массы композиционного вяжущего)	606	2,92	4,18	6,9
2	Кол-во газообразователя уменьшено в 1,5 раза (ПАП-1, 0,067 % от массы КВ), В/Т=0,423	787	4,13	5,91	7,51
3	Гранулированный газообразователь фр. 0,16...0,315 мм, 2,5 % от массы КВ	806	4,43	6,33	7,85
4	Гранулированный газообразователь фр. 0,315...0,64 мм, 2,5 % от массы КВ	906	4,17	5,96	6,58
5	+30 % песка (ПАП-1, 0,067 % от массы КВ)	783	4,62	6,61	8,44
6	+50 % песка (ПАП-1, 0,067 % от массы КВ)	781	2,57	3,68	4,71
7	В/Т снижено до 0,386 (ПАП-1, 0,067 % от массы КВ)	805	4,75	6,79	8,43
8	В/Т снижено до 0,345 (ПАП-1, 0,067 % от массы КВ)	783	4,89	6,99	8,93

Как видно из таблицы, уменьшение дозировки газообразователя ожидаемо привело к повышению плотности и прочности материала. Однако в случае с составами №2 и 3 плотность материала оказалась ниже заданной, рассчитанной исходя из фактической газообразующей способности ПАП-1 [23] и ГГО фр.0,16...0,315 мм. На наш взгляд, это является следствием более благоприятного строения порового пространства материала, что нашло отражение на 10...15 % более высоких коэффициентов конструктивного качества этих составов.

Более крупная фракция гранулированного газообразователя (0,315...0,64 мм), предназначенная для создания более крупных пор, штатно сработала в этой роли, но не привела к улучшению относительных прочностных показателей материала. На рис. 2,г видны поризованные межпоровые перегородки, в то время как основная задача использования ГГО заключается в исключении этого явления. Вероятной причиной явилась недостаточная прочность пористых гранул ГГО, повлекшая их частичное разрушение в процессе интенсивного механизированного перемешивания смеси и образования мелких частиц, формирующих мелкие газовые пузыри в межпоровых перегородках материала. Доработка ГГО, с повышением механической прочности гранул, позволит снизить вероятность подобных явлений и добиться более высоких прочностных показателей материала. В то же время возможность целенаправленного формирования в газобетоне заданного количества пор требуемых размеров подтверждается.

Следующим технологическим приёмом повышения плотности и прочности газобетона является насыщение его мелким заполнителем [24-27], в качестве которого на данном этапе исследований был использован мелкий мытый кварцевый песок с $M_{\text{кр}}=1,4...1,5$, типичный для белгородских месторождений (составы №5 и 6, см. таблицу). Влияние количества вводимого песка (приводится в процентах от массы композиционного вяжущего) носит ярко выраженный экстремальный характер с пиком в районе 25 % (рис. 3), что соответствует повышению прочности по сравнению с равноплотным составом №2 (см. таблицу) до 6,7 МПа (+15 %) с выходом на $\text{ККК}^{28}=8,5$, при одновременном снижении себестоимости продукции ввиду сокращения расхода композиционного вяжущего, величины усадочных деформаций и др. Количество вводимого песка незначительно сказывается на вязкости формовочной смеси.

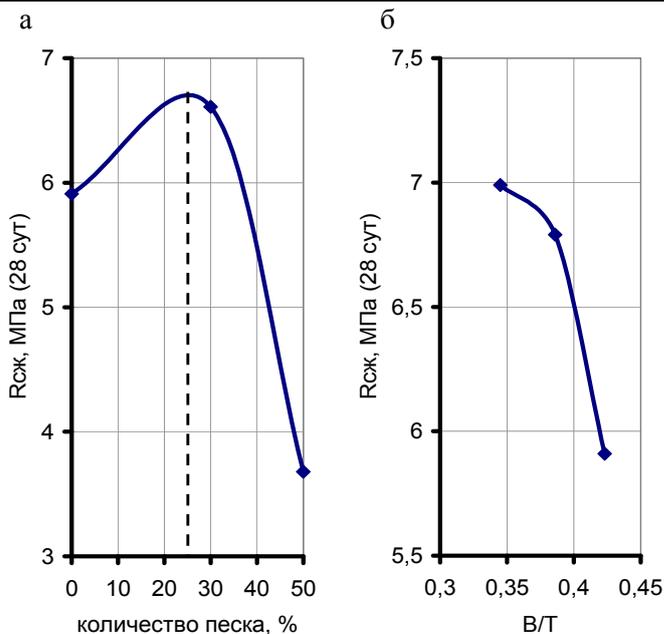


Рис. 3. Влияние на прочность газобетона:
а – содержания песка; б – В/Т

Обращает на себя внимание более лёгкая распиловка составов по мере повышения содержания песка, что, вероятно, связано с достаточно лёгким вырыванием из цементной матрицы отдельных песчинок зубьями пилы. В этой связи дальнейший прирост эффективности введения заполнителя может быть обеспечен мерами по

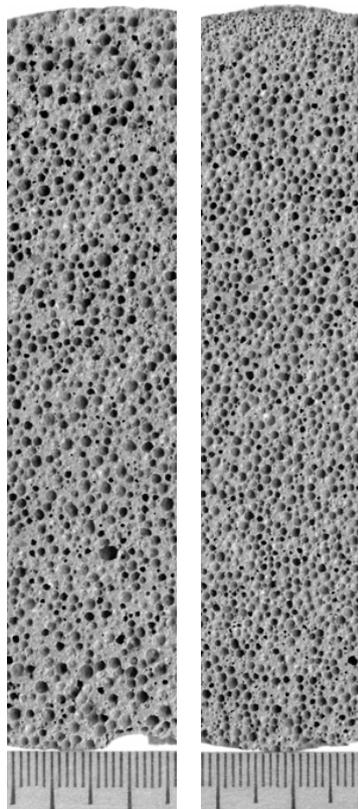


Рис. 4. Строение порового пространства материала с В/Т 0,39 (слева) и 0,35 (справа)

увеличению сцепления с его поверхностью цементного камня (выбор оптимального сырья, повышение шероховатости частиц и др.) и расширением функциональной нагрузки (например дополнительное снижение плотности за счёт использования высокопрочных микросфер и др.).

Одним из важнейших факторов, определяющих прочность цементных бетонов, является водоцементное отношение, понижение которого в первую очередь возможно за счёт применения суперпластификаторов. Было проведено ступенчатое снижение В/Т-отношения с одновременным повышением дозировки суперпластификатора для поддержания приемлемой вязкости смеси при перемешивании (составы 7 и 8, см. таблицу).

Наиболее активное повышение прочности (рис. 3, б) имеет место при снижении В/Т до $\approx 0,37$, при этом расход суперпластификатора по сравнению с контрольным составом №2 повышен в 2 раза. Данный фактор следует принимать во внимание, поскольку стоимость химической добавки составляет ощутимую долю в себестоимости материала. Прирост прочности материала по сравнению с контрольным составом №2 составляет 15...20 %, а в сравнении с исходным составом №1 – более 60 %. Повышение дозировки суперпластификатора не оказывает существенного влияния на протекание реакции газообразования, однако требует приложения более интенсивных ударных воздействий на смесь в процессе вспучивания. Структура получаемого материала отличается более мелкими порами, размер которых несколько падает при снижении В/Т (рис. 4).

Таким образом, результирующим по проанализированным факторам можно принять состав с $V/T=0,36...0,37$ (с соответствующим количеством суперпластификатора), 25 % песка и гранулированным газообразователем (ГГО) фр. $0,16...0,315$ мм, что должно обеспечить выход на установленный уровень функциональных показателей неавтоклавного газобетона.

При этом в качестве резерва повышения прочности в рамках рассмотренных факторов остаются: дальнейшее увеличение плотности материала с нижней установленной границы материала (800 кг/м^3) до верхней (1000 кг/м^3); повышение эффективности использования мелкого заполнителя; совершенствование предложенной технологии гранулированного газообразователя в целях оптимизации строения порового пространства высокопрочного газобетона.

Всё это позволяет верить в успешность решения намеченной задачи и будет способствовать существенному расширению границ применения ячеистых бетонов в целом.

Список литературы

1. Баженов, Ю.М. Бетон: технологии будущего / Ю.М. Баженов // Строительство: новые технологии – новое оборудование. – 2009. – № 8. – С. 29–32.
2. Лесовик, В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее / В.С. Лесовик // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, № 1 (100). – С. 9–16.
3. Баженов, Ю.М. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы / Ю.М. Баженов, Е.М. Чернышов, Д.Н. Коротких // Строительные материалы. – 2014. – № 3. – С. 6–14.
4. Новое поколение строительных композитов на основе пеностекла / В.С. Лесовик, О.В. Пучка, С.С. Вайсера, М.Ю. Елистраткин // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 3 (59). – С. 146–154.
5. Сапелин, А.Н. Конструкционно-теплоизоляционные материалы на основе алюмосиликатных микросфер / А.Н. Сапелин, И.В. Бессонов, М.Ю. Елистраткин // Научные технологии и инновации: сб. / Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). – 2014. – С. 325–330.
6. Высокопрочный керамзитобетон для строительства энергосберегающих жилых зданий / А.И. Кудяков, Г.Г. Петров, А.Е. Абакумов, А.В. Сергеева // Перспективные материалы в технике и строительстве (ПМТС-2013): материалы Первой Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. – 2013. – С. 399–401.
7. Савицкий, Н.В. 3D-печать строительных объектов / Н.В. Савицкий, С.В. Шатов, О.А. Ожищенко // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. – 2016. – № 3 (216). – С. 18–26.
8. Перспективы применения композиционных вяжущих при производстве железобетонных изделий / Н.И. Алфимова, В.С. Лесовик, А.В. Савин, Е.Е. Шадский // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – №5 (88). – С. 95–99.
9. Кара, К.А. Газобетон на композиционном вяжущем с использованием отсевов дробления известняка / К.А. Кара, А.Г. Сулейманов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 5. – С. 64–66.
10. Композиционные вяжущие для эффективных строительных растворов / А.А. Куприна, В.С. Лесовик, М.Ю. Елистраткин, А.В. Гинзбург // Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. – Белгород, 2015.
11. Объективные предпосылки перехода к композиционным вяжущим / Л.Х. Загороднюк [и др.] // Научные технологии и инновации: сб. докл. Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 110–116.

12. Лесовик, В.С. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства / В.С. Лесовик, Л.А. Сулейманова, К.А. Кара // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – № 3. – С. 10–20.
13. Володченко, А.Н. Реологические свойства газобетонной смеси на основе нетрадиционного сырья / А.Н. Володченко, В.С. Лесовик // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г.Шухова. – 2012. – №3. – С. 45–48.
14. Энергосберегающие газобетоны на композиционных вяжущих / Л.А. Сулейманова [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 4. – С. 73–83.
16. Лесовик, В.С. Целенаправленное формирование свойств материалов за счёт управления параметрами порового пространства / В.С. Лесовик, А.М. Гридчин, М.Ю. Елистраткин // Современные строительные материалы, технологии и конструкции: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». – Грозный, 2015. – С. 234–242.
17. Поспелова, Е.А. Применение статистических методов для повышения качества автоклавного ячеистого бетона / Е.А. Поспелова, В.А. Здесенко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 6. – С. 50–54.
18. Влияние некоторых рецептурно-технологических факторов на свойства неавтоклавного газобетона / Х.С. Явруян [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 38, № 4 (38). – С. 93.
19. Сулейманова, Л.А. Управление процессом формирования пористой структуры ячеистых бетонов / Л.А. Сулейманова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 2. – С. 69–76.
20. Страхов, А.В. Формирование замкнутой пористости в неавтоклавном газобетоне / А.В. Страхов, С.О. Калюжный // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – № 2 (16). – С. 1–4.
21. Сулейманова, Л.А. Топология пор в газобетоне / Л.А. Сулейманова, К.А. Сулейманов, И.А. Погорелова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 5. – С. 100–105.
22. Нгуен, Т.Т. Исследование структуры газобетона для жилищного строительства Вьетнама / Т.Т. Нгуен, Д.В. Орешкин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3. – С. 169–172.
23. Сравнительная оценка газообразователей для производства ячеистого бетона / А.Б. Бухало, В.В. Нелюбова, В.В. Строкова, А.В. Сумин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 2. – С. 42–45.
24. Абдыраймов, Ж.А. Влияние различных добавок на технические свойства неавтоклавного газобетона / Ж.А. Абдыраймов, С.Ж. Мелибаев // Вестник КГУСТА. – 2016. – № 1 (51). – С. 156–161.
25. Дерябин, П.П. Рецептурные и технологические особенности производства газобетона / П.П. Дерябин, О.П. Герина // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы конференции / VII Всероссийская научно-практическая конференция ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с международным участием). – 2012. – С. 419–423.
26. Кара, К.А. К вопросу о технико-экономической эффективности неавтоклавного ячеистого бетона / К.А. Кара // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 4 (29). – С. 20–27.
27. Сердюк, В.Р. Ячеистый бетон как важная составляющая строительства энергосберегающего жилья в странах СНГ / В.Р. Сердюк // Инновационное развитие территорий: материалы III Международной научно-практической конференции / отв. за вып. З.М. Магруппова. – Череповецк: Череповецкий государственный университет, 2015. – С. 21–23.

References

1. Bazhenov, Y.M. Concrete technology of the future / Y.M. Bazhenov // Construction: new technologies – new equipment. – 2009. – №. 8. – P. 29–32.
2. Lesovik, V.S. Construction materials. Present and future / V.S. Lesovik // Vestnik MGSU. – 2017.–Vol. 12, №. 1 (100). – P. 9–16.
3. Bazhenov, Y.M. Design of modern concrete structures: defining principles and technological platforms / Y.M. Bazhenov, E.M. Chernyshov, D.N. Korotkikh // Building materials. – 2014. – №3. – P. 6–14.
4. New generation of composites based on foam glass / V.S. Lesovik, O.V. Beam, S.S. Vaysera, M.Y. Elistratkin // Construction and reconstruction. – 2015. – № 3 (59). – P. 146–154.
5. Sapelin, A.N. Listed in Structural-heat insulating material based on aluminosilicate microspheres / A.N. Sapelin, I.V. Bessonov, M.Y. Elistratkin // NAU technology and innovation: In the collection / the anniversary international scientific-practical conference dedicated to the 60th anniversary of Belgorod state technological University them. V.G. Shukhova (XXI scientific readings). – 2014. – P. 325–330.
6. High-strength concrete for the construction of energy efficient residential buildings / A.I. Kudyakov, G.G. Petrov, A.E. Abakumov, A.V. Sergeeva // Advanced Materials in engineering and construction (PMTS–2013) proceedings / the First all-Russian scientific conference of young scientists with international participation. – 2013. – P. 399–401.
7. Savitsky, N.V. 3D-printing construction sites / N.V. Savitsky, S.V. Shatov, O.A. Ogienko // Bulletin of Prydniprovsk state Academy of civil engineering and architecture. – 2016. – №. 3 (216). – P. 18–26
8. Alfimova N. And. Lesovik V. S., Savin A.V., Shadskiy E. E. Prospects of use of composite binders in the production of concrete products // Vestnik of Irkutsk state technical University. – 2014.– №. 5 (88). – P. 95–99.
9. Kara, K.A. Concrete for composite binder with the use of screenings from the crushing of limestone / K.A. Kara, A.G. Suleymanov // Bulletin of Belgorod state technological economic University. V. G. Shukhov. – 2013. №. 5. – P. 64–66.
10. Composite binders for effective building solutions / A.A. Kuprin, V.S. Lesovik, M.Yu. Elistratkin, A.V. Ginzburg // Scientific-practical conference, devoted to 85-anniversary of the honored worker of science of Russia, academician RAASN, doctor of technical Sciences, Bazhenov Yury Mikhailovich. – Belgorod, 2015.
11. Objective preconditions for the transition to composite binders / L.Kh. Zagorodnyuk [etc.] // Knowledge intensive technologies and innovations: a collection of papers of International scientific–practical conference. – 2016. – P. 110–116.
12. Lesovik, V.S. Energy–Efficient concretes on composite binders for monolithic construction / V.S. Lesovik, L.A. Suleymanova, K.A. Kara // Izvestia of higher education for reference. Construction. – 2012. – №. 3. – P. 10–20.
13. Volodchenko, A.N. Rheological properties of concrete mixtures based on non-traditional raw materials / A.N. Volodchenko, V.S. Lesovik // Bulletin of Belgorod state technological University them. V. G. Shukhov. – 2012. – №. 3. – P. 45–48.
14. Energysaving aerated concrete on composite binding / L.A. Suleymanova [etc.] // Bulletin of Belgorod state technological University. V. G. Shukhov. – 2016. – №. 4. – P. 73–83.
16. Lesovik, V.S. Purposeful formation properties of materials by controlling the parameters of the pore space / V.S. Lesovik, A. M. Gridchin, M.Y. Elistratkin // Modern construction materials, technologies and construction materials of the International scientific-practical conference dedicated to the 95th anniversary of FGBOU VPO «GGNU them. Acad. M. D. Millionshtchikov». – Grozny, 2015. – P. 234–242.
17. Pospelova, E.A., Application of statistical methods to improve the quality autoclaved aerated concrete / E.A. Pospelova, V.A. Zdesenko // Vestnik of Belgorod state technological University n. a. V. G. Shukhov. – 2014. – №. 6. – P. 50–54.
18. Yavruyan, H.S. The Influence of some prescription–technological factors on properties of non-autoclaved gazobeton / H.S. Yavruyan // Engineering journal of don. – 2015. – Vol. 38. – № 4 (38). – P. 93.

19. Suleymanova L. A. Managing the process of forming the porous structure of aerated concretes // Vestnik of Belgorod state technological University n. a. V. G. Shukhov. – 2016. – №. 2. – P. 69–76.
20. Strakhov, A.V. The Formation of a closed porosity in the non-autoclaved aerated concrete / A.V. Strakhov, S.O. Kalyuzhnyi // Technical regulation in transport construction. – 2016. – №. 2 (16). –P. 1–4.
21. Suleymanova, L.A. Topology of pores in aerated concrete / L.A. Suleymanova, K.A. Suleimanov, I.A. Pogorelova // Vestnik of Belgorod state technological university n. a. V. G. Shukhov. – 2016. №. 5. – P. 100–105.
22. Nguyen, T.T. Investigation of the structure of aerated concrete for residential construction Vietnam / T.T. Nguyen, D.V. Oreshkin // Scientific-technical Vestnik of the Volga region. – 2014. – №. 3. – P. 169–172.
23. Comparative evaluation of the blowing agents for the production of cellular concrete / A.B. Bukhalo, V.V. Nelyubova, V.V. Strokov, V.A. Sumin // Vestnik of Belgorod state technological University n. a. V. G. Shukhov. – 2013. – №. 2. – P. 42–45.
24. Abdyraimov, J.A. The influence of various additives on the technical properties of aerated concrete / J.A. Abdyraimov, S.J. Mailybaev // Bulletin KSUCTA. – 2016. – №. 1 (51). – P. 156–161.
25. Deryabin, P.P. Recentury and technological features of production of aerated concrete / P.P. Deryabin, O.P. Gerina // The Development of road–transport complex and construction-infrastructure on the basis of environmental management: materials of the conference VII all-Russian scientific-practical conference of FSBEI HPE «SibADI» (with international participation). – 2012. – P. 419–423.
26. Kara K.A. To the question of technical and economic efficiency of non–autoclaved aerated concrete // Regional architecture and construction. – 2016. №. 4 (29). – P. 20–27.
27. Serdyuk, V.R. Cellular concrete as an important component of building energy–saving housing in the CIS / V.R. Serdyuk // Innovative development of territories proceedings of the III International scientific-practical conference. Resp. for vol. Z. M. Magrupova. – Cherepovets: Cherepovets state University, 2015. – P. 21–23.

Израильский исследовательский центр
нанотехнологий «Polymate Ltd»
POBox 73, Migdal HaEmek 2310001, Israel

Кудрявцев Павел Григорьевич,
профессор, академик РАЕН,
академик МАНЭБ
E-mail: pgkudr89@gmail.com

Фиговский Олег Львович,
профессор, академик ЕАН, академик РАСН
E-mail: figovsky@gmail.com

Polymate Ltd – Israel Nanotechnology
Research Center

POBox 73, Migdal HaEmek 2310001, Israel

Kudryavtsev Pavel Grigorievich,
Professor, academician of the Russian
Academy of Natural Sciences, academician of
the Institute of International Relations
E-mail: pgkudr89@gmail.com

Figovsky Oleg L'vovich,
Professor, Academician of the EAS,
Academician of the Russian Academy of
Medical Sciences
E-mail: figovsky@gmail.com

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ТЕРМОСТОЙКИЕ АДГЕЗИВЫ

П.Г. Кудрявцев, О.Л. Фиговский

Рассмотрены вопросы получения неорганических термостойких композиционных материалов с использованием новых классов неорганических адгезивов – основных солей различных металлов. Показана возможность использования в качестве связующего гидроксо-хлоридов и гидроксо-нитратов алюминия, циркония, хрома и ряда других металлов. Основными продуктами термического разложения всех типов рассмотренных в настоящей работе адгезивов являются нанодисперсные высокоогнеупорные оксиды.

Ключевые слова: неорганические адгезивы, основные соли алюминия, основные соли переходных металлов, неорганические композиты, термостойкие материалы

INORGANIC HEAT-RESISTANT ADHESIVES

P.G. Kudryavtsev, O.L. Figovsky

The problems of obtaining inorganic thermally stable composite materials with the use of new classes of inorganic adhesives, the basic salts of various metals, are considered. The possibility of using aluminum hydroxide, hydroxyl-nitrate, zirconium, chromium and a number of other metals as a binder is shown. The main products of thermal decomposition of all types, of adhesives considered in the present work, are nanodispersed high-refractory oxides.

Keywords: inorganic adhesives, basic salts of aluminum, basic salts of transition metals, inorganic composite, heat resistant materials

ВВЕДЕНИЕ

Неорганические адгезивы имеют преимущество по сравнению с органическими полимерными клеями из-за их способности выдерживать высокие температуры. Они, чаще всего, представляют собой аморфные вещества, такие, как диоксид кремния. Некоторые адгезивы представляют собой вещества, находящиеся в виде наночастиц, например оксид алюминия, которые обычно диспергированы в жидком носителе. Такие дисперсии известны как коллоидные растворы. В процессе изготовления композиционного материала носитель испаряется во время нагревания. При этом адгезивы взаимодействуют с наполнителем с образованием областей скрепления компонентов наполнителя между собой. Таким образом, в области связи остаются только наночастицы адгезива. В качестве альтернативы иногда могут быть использованы адгезивы в виде порошка, без носителя.

В последние годы получило интенсивное развитие направление в технологии керамики и неорганических композитов – формование материалов из растворов с ис-

пользованием золь-гель-процессов [19]. Естественно, в первом ряду таких материалов стоят продукты на основе кремнезоль, которые являются продолжением ряда жидких стекол при устремлении силикатного модуля к бесконечности [1, 2]. Сущность этих процессов заключается в применении золь – коллоидных растворов соответствующих оксидов и оксигидратов металлов, обладающих способностью в определенных условиях превращаться из жидких систем в твердые продукты. С точки зрения керамической технологии наибольший интерес представляют процессы получения золь наиболее тугоплавких оксидов металлов и в первую очередь оксидов кремния, алюминия, циркония и др. [3].

Другим типом неорганических адгезивов являются продукты на основе жидких фосфатных растворов, таких, как кислые фосфаты алюминия или хрома. Такими продуктами являются, например, системы, полученные растворением гидроксида алюминия ($\text{Al}(\text{OH})_3$) в фосфорной кислоте (H_3PO_4) при перемешивании и нагревании до приблизительно 150 °С. В качестве адгезивов чаще всего используются растворы, имеющие атомное отношение P/Al более 3 [10]. Такой раствор протекает между поверхностями, подлежащими соединению. При нагревании полученного раствора (выше 500 °С в течение 3 часов) в нем происходят химические реакции. В результате этих процессов он превращается в твердое вещество, которое действует в качестве связующего субстрата. Продукты реакции представляют собой твердые фазы, состоящие из различных фосфатов алюминия.

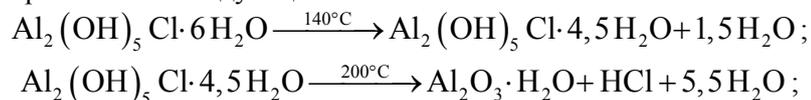
Одним из перспективных типов термостойких адгезивов для композиционных материалов являются адгезивы на основе гидроксонитратов и гидроксохлоридов алюминия. Это одни из самых крупнотоннажных продуктов. Годовой объем их производства в 2015 году составил около 170 миллионов тонн [5]. Более 90 % этого объема превращается в оксид алюминия, который используется в производстве металлического алюминия [17]. Получение основных солей алюминия было разработано для использования этих солей как адгезивов для грануляции адсорбентов на основе цеолитов [7], однако проведенные исследования показали перспективность использования данных соединений в качестве адгезивов при изготовлении конструкционных композиционных материалов.

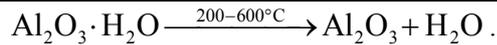
1. Адгезивы на основе основных солей алюминия

Коллоидно-химические и адгезивные свойства основных солей алюминия зависят от соотношения Al/NO_3 в их молекулах. С увеличением основности солей возрастает pH, степень полимеризации и, соответственно, вязкость их растворов. При $\text{Al}/\text{NO}_3=1/2$ в растворе наблюдается опалесценция, и он реально является коллоидным раствором. При концентрации более 19 % и мольном отношении $\text{Al}/\text{NO}_3 > 2$ растворы этих солей имеют гелеобразный вид.

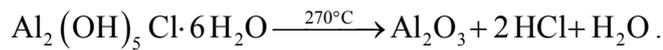
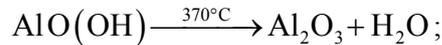
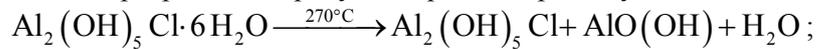
Гидроксонитраты алюминия используют в качестве адгезивов в виде растворов или золь. Основные соли алюминия имеют следующий состав: $\text{Al}(\text{OH})_2\text{NO}_3$, $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{NO}_3$, $\text{Al}_3(\text{OH})_8\text{NO}_3$, $\text{Al}_4(\text{OH})_{11}\text{NO}_3$. Эти данные являются условными, так как их брутто-формулы не отражают наличие аква-, гидроксо-, оксо- и других групп, которые содержатся в структуре молекул основных солей. Указанные соединения алюминия готовят, растворяя свежесажженный гидроксид алюминия в стехиометрическом количестве азотной кислоты. Для придания водостойкости материалу, полученному при использовании гидроксонитратов в качестве адгезивов (например, гранулы цеолитов), его подвергают прокаливанию при температуре 450÷550 °С. В результате термообработки образуется Al_2O_3 , а прочностные свойства материала повышаются [8].

В соответствии с данными [10] разложение гидроксохлорида алюминия при нагревании протекает по следующей схеме:





Одним из простых способов получения гидроксохлоридов алюминия является термолиз $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [12]. Водный раствор продуктов термолиза, по брутто составу отвечающий гидроксохлориду алюминия 5/6, содержит некоторое количество примесей гидроксохлоридов алюминия другой основности. Этим способом можно получать продукты с отношением Al/Cl от 1,1 до 2,3 и различной растворимостью в воде. Термические превращения продукта термолиза реализуются по схеме:



Растворимость в воде 5/6 гидроксохлорида алюминия, полученного пептизацией свежесажденного гидроксида алюминия хлористоводородной кислотой, повышается после его высушивания. Это явление связано с разрушением высокополимерных образований и образованием большего количества олигомерных частиц в получаемом продукте.

Использование гидроксохлоридных адгезивов позволяет получать более плотную корундовую керамику, чем при использовании связки на основе поливинилового спирта и других органических адгезивов. Исследование свойств гидроксолей алюминия $(\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{X}_{6-n})$, где X – Cl⁻ или NO₃⁻ показало, что хорошими связующими свойствами обладают гидроксоли с $n = 4,5$. При отклонении величины n как в сторону увеличения основности ($n = 5$), так и в сторону увеличения кислотности ($n = 4$) связующая способность соответствующих соединений падает [10]. При применении гидроксо-солей алюминия основным соединением, выступающим в качестве связующей фазы, является низкотемпературная форма оксида алюминия $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, которая образуется при термической обработке соответствующих солей [13].

Благодаря вяжущим свойствам использование в качестве адгезива гидроксохлорида алюминия обеспечивает надежное формование изделия-сырца; кроме того, в результате термической деструкции поставляет в зону реакции сырьевые компоненты в активной форме, что способствует процессу спекания. С использованием гидроксохлорида алюминия были получены огнеупоры на основе магнезиального сырья и кварцевая керамика. Результаты испытаний этих материалов представлены на рис. 1.

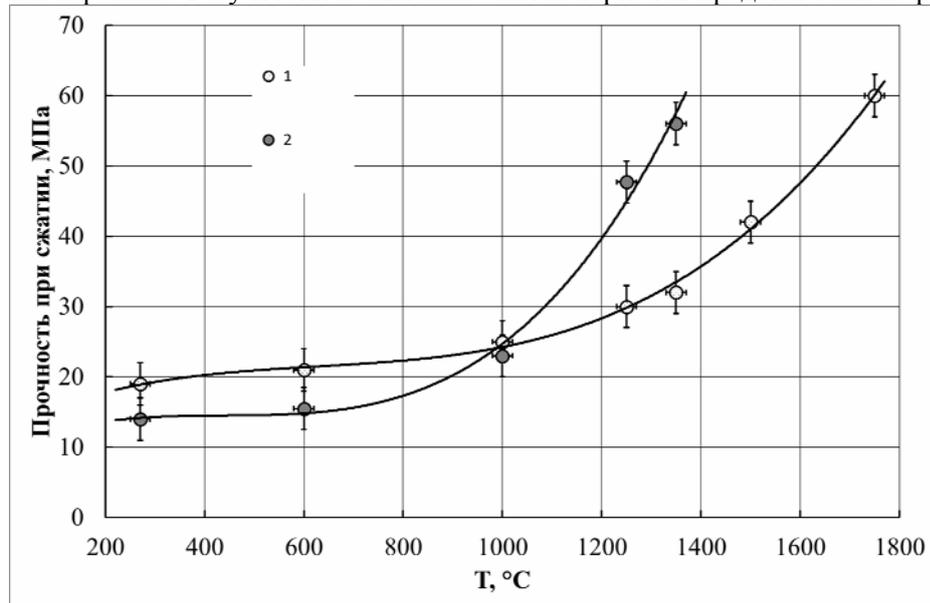


Рис. 1. Прочность материалов, полученных с использованием гидроксохлорида алюминия в качестве адгезива:

1 – магнезиальный огнеупор; 2 – кварцевая керамика

2. Адгезивы на основе основных солей переходных металлов

Примером этого интересного класса неорганических адгезивов являются материалы на основе гидроксонитратов циркония. Известно, что у нитрата циркония в интервале температур от 110 до 250 °С после удаления части групп NO_3 у его катионных комплексов происходит усложнение структуры. Кроме того, с увеличением концентрации соли в растворе возрастает степень их полимеризации. Исходя из этого были приготовлены адгезивы на основе раствора нитрата циркония с концентрацией 60 % [14].

Раствор гидроксонитратов циркония подвергали кипячению, что приводило к гидролизу соли циркония и образованию коллоидного раствора его гидратированного оксида, стабилизированного нитрат-ионами. Полученный раствор упаривали до плотности $\rho = 1,7 \text{ г/см}^3$. Образовавшийся в результате вязкий опалесцирующий раствор являлся весьма устойчивым по времени и сохранял устойчивость при разбавлении. Полученный таким образом вязкий адгезив содержит 33 % ZrO_2 ($\rho = 1,65 \text{ г/см}^3$), имеет в своем составе 30,8 % NO_3 , что отвечало мольному отношению $\text{NO}_3/\text{ZrO}_2 = 0,97$ против 2 в исходной соли циркония.

Результаты испытаний полученного адгезива представлены на рис. 2. При нагревании такой адгезив превращается в высокодисперсный диоксид циркония. Применение этого адгезива привело к улучшению спекаемости и уменьшению в два раза пористости изделий по сравнению с изделиями, полученными с использованием поливинилового спирта.

Вид представленных зависимостей указывает на то, что при изготовлении изделий наблюдаются два взаимно противоположных процесса. Первый связан с потерей воды и остатков анионных групп и, соответственно, исчезновением координационных связей, обусловленных координацией воды и гидроксо-групп. Эти процессы протекают на начальном этапе термообработки и приводят к снижению прочностных характеристик материала с данным адгезивом.

Увеличение прочности материала при более высокой температуре обработки обусловлено вторым процессом. На этой стадии происходит активация процессов спекания и диффузионного переноса материала адгезива. Протекание процесса спекания при весьма низкой температуре связано с высокодисперсным характером частиц адгезива. При анализе полученных данных был обнаружен интересный эффект, который представлен на рис. 3, а именно изменение положения минимума на кривых, представленных на рис. 2, в зависимости от давления прессования при изготовлении соответствующих изделий. Видно, что при повышении давления при изготовлении материала положение минимума смещается в сторону низких температур. Этот эффект обусловлен уменьшением толщины пленки адгезива между частицами наполнителя и соответственно, увеличением скорости переноса вещества к межфазной границе и облегчением процессов спекания. Аналогичные материалы могут быть получены и при использовании хлоридных систем.

Свойства, подобные свойствам гидроксо-солей алюминия, имеют и соответствующие соединения циркония. Для синтеза гидроксохлоридов циркония свежееосажденный гидроксид циркония растворяли в концентрированной соляной кислоте, количество которой рассчитывали исходя из условия получения основных солей состава $\text{Zr}(\text{OH})_2\text{Cl}_2$ [9]. Полученные прозрачные растворы выпаривали до содержания ZrO_2 31÷35 %; при дальнейшем повышении концентрации наблюдается стеклование их растворов.

Известны адгезивы на основе гидроксокомплексов хрома. В [15] были представлены способы получения адгезивов на основе солей хрома. Соединения хрома хорошо изучены как дубители, причем установлена полимерная природа солей хрома. В зависимости от степени основности солей изменяется молекулярная масса и число атомов хрома в молекулах нитратных солей: $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$, $[\text{Cr}_2(\text{OH})_2](\text{NO}_3)_4$, $[\text{Cr}_2(\text{OH})_3](\text{NO}_3)_3$, $[\text{Cr}_4(\text{OH})_7](\text{NO}_3)_5$.

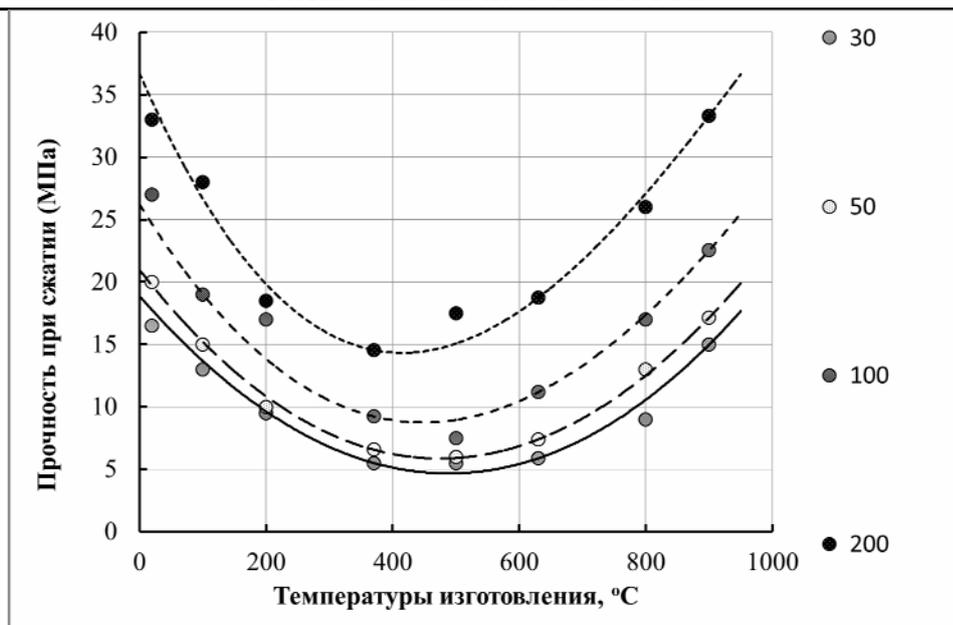


Рис. 2. Использование адгезива на основе гидроксонитратов циркония для получения термостойких композиционных материалов. В качестве наполнителя использовался порошок циркона с размером частиц: 63÷160 мкм. Давление прессования при изготовлении материала: 30, 50, 100, 200 МПа

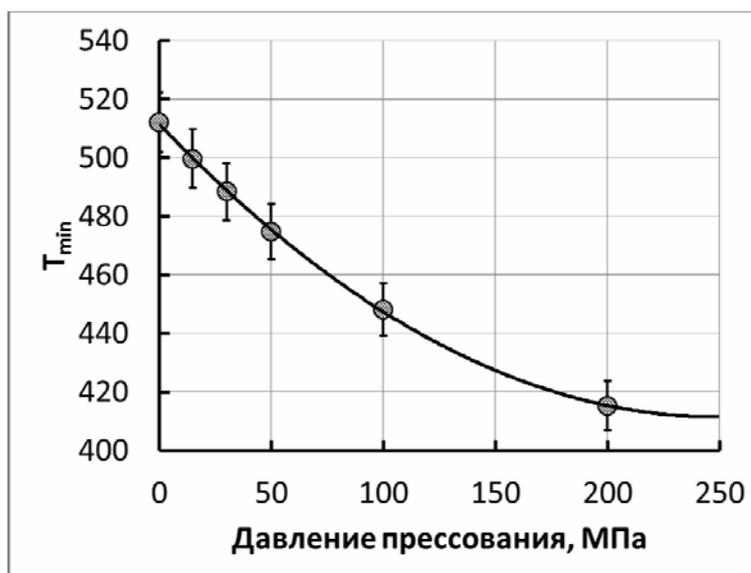


Рис. 3. Изменение положения температурного минимума в зависимости от величины давления прессования на кривых зависимости прочности материала от температуры спекания (рис. 2), при использовании гидрокси-нитратного циркониевого адгезива

При растворении гидроксида хрома в HCl или HNO₃ удавалось получить вязкие растворы с основностью 83 %, при его растворении в H₂SO₄ – до 60 %. При этом плотности растворов составляли около 1,65 г/см³, при более высокой концентрации в этих растворах происходило стеклование [16].

Для соединений хрома с различными анионами наблюдается рост их активности как адгезивов в ряду Cl⁻ < NO₃⁻ < SO₄²⁻. При этом также растет и время их жизни. Имеется прямая корреляция между поляризуемостью аниона цементирующей фазы и прочностью получаемого материала. Повышенное содержания жидкой фазы в композиции также существенно снижает прочность получаемых материалов, что ранее наблюдалось у силикатных связующих [18]. Кроме того, прочность материалов растет с увеличением концентрации связующего при неизменной его основности [10]. Этот

факт еще раз подтверждает эффект, который был обнаружен при получении материалов с использованием в качестве адгезивов гидроксо-нитратов циркония.

Адгезивы на основе гидроксо-сульфата хрома проявляет хорошие адгезионные свойства к меди и латуни (2,0÷2,7 МПа) и удовлетворительные – к бронзе и стали (0,7÷1,0 МПа).

Данный класс химических соединений не ограничивается только описанными выше соединениями. Так, в [11] были описаны адгезивы, полученные на основе гидроксохлоридов кобальта, никеля, меди, цинка, кадмия. Такие адгезивы являются аналогами гидроксохлоридов алюминия и также относятся к группе кислых связующих. По сравнению с гидроксолями алюминия и циркония они имеют ряд недостатков: первые три элемента дают окрашенные соединения, и кроме того, все они в присутствии оксидов кремния дают эвтектики с достаточно низкими температурами плавления. Это затрудняет их использование в термостойких, огнеупорных композициях, хотя в некоторых особых случаях они могут успешно использоваться. Элементы с 3d-орбиталями и Cd образуют основные соли, хорошо растворимые в воде, которые представляют собой олигомерные комплексы, например $Zn_2(OH)_2^{2+}$, $Cd_2(OH)^{3+}$, $Ni_2(OH)^{3+}$. При повышении концентрации соли образуются группировки с более высокой степенью полимеризации. Эти адгезивы получают путем растворения соответствующих свежесажженных гидроксидов в HCl при нагревании. Полученный таким образом раствор концентрируют упариванием. Таким путем удается получить адгезивы со степенью основности 15÷50 % и плотностью 1,4÷1,8 г/см³. Повышение плотности адгезива увеличивает его вяжущую активность.

Еще одним интересным классом химических соединений являются гидроксохроматы различных элементов. Синтез гидроксохроматов алюминия, магния, циркония осуществляли растворением свежесажженного гидроксида соответствующего элемента в концентрированном растворе хромовой кислоты H_2CrO_4 . Последнюю прибавляли до достижения необходимой степени основности [16]. Таким способом были получены гидроксохроматы со степенью основности 20÷50 %. В зависимости от степени основности гидроксохроматы обладают различной растворимостью в воде. В качестве адгезивов использованы концентрированные водные растворы солей следующих составов: $AlOHCrO_4$, $Mg_2(OH)_2CrO_4$, $Zr(OH)_2CrO_4$. Эти соединения имеют наибольшую растворимость. Область существования основных солей заданного состава ограничивается определенным интервалом pH. Установлено, что для гидроксохромата алюминия интервал стабильности находится в области pH = 4,5÷5; магния – 6,5÷7; циркония – 5,5÷6. Концентрирование гидроксохромитных растворов может быть осуществлено выпариванием под вакуумом. Максимальной адгезией к различным наполнителям обладают растворы с концентрацией 50÷55 % и плотностью 1,60÷1,65 г/см³. При дальнейшем повышении концентрации растворы загустевают, а затем переходят в стеклообразное состояние.

Указанные выше соединения являются промежуточными между истинными солями и коллоидными растворами оксидов соответствующих элементов. Поэтому в качестве адгезивов могут быть также использованы золи тугоплавких оксидов металлов. По аналогии с основными солями оксидные золи могут также быть получены методом пептизации осадков соответствующих гидроксидов. Недостатками метода пептизации является сравнительно большой объем аппаратуры, который требуется для его осуществления, а также неполное диспергирование и существование агрегатов в получаемом золе.

Золи оксидов металлов могут быть также получены гидролизом соответствующих соединений этих металлов. Например, алюмозоль может быть получен гидролитическим разложением солей алюминия или алюминатов щелочных металлов, а кремнезоль – гидролитическим разложением щелочных силикатов [4]. Одним из перспективных процессов получения золь является гидролиз алкоксидов металлов и поликонденсация продуктов реакции [5, 6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований было показано, что основные соли многих металлов могут быть использованы в качестве адгезивов при получении термостойких композиционных материалов на основе оксидных систем.

Основными продуктами термического разложения всех типов рассмотренных в настоящей работе адгезивов являются нанодисперсные высокоогнеупорные оксиды. Следует отметить, что материалы на основе систем, содержащих хром и некоторые другие элементы в переходных степенях окисления, имеют окраску. Вследствие этого они имеют худшие показатели по теплопроводности по сравнению с бесцветными материалами.

Список литературы

1. Figovsky O., Beilin D. *Advanced Polymer Concretes and Compounds* @ CRC Press, Tailor & Francis Group, 2013, 245 pp.
2. Кудрявцев, П.Г. Золь-гель процессы и некоторые его технологические приложения / П.Г. Кудрявцев, В.В. Вольхин // Золь-гель процессы получения неорганических материалов: тез. докл. семинара. – Пермь, 1991. – С. 3–5.
3. Кудрявцев, П.Г. Методы получения зелей оксигидратов металлов, используемых в качестве связующих для формования неорганических композитов / П.Г. Кудрявцев, О.Б. Кавалерова // Композиционные материалы на основе дисперсных систем: сб. науч. трудов. – Екатеринбург: УрО РАН, 1994. – С.21–29.
4. Получение и стабилизация растворов оксидов металлов / П.Г. Кудрявцев, О.Б. Кавалерова, И.Л. Казакова, В.В. Вольхин // Золь-гель процессы получения неорганических материалов: тезисы докл. семинара. – Пермь, 1991. – С.33.
5. Получение оксида алюминия особой чистоты: обзорная информация. Серия: Реактивы и особочистые вещества. – М.: НИИТХИМ, 1987. – 40 с.
6. Kudryavtsev, P.G. Alkoxides of chemical elements – promising class of chemical compounds wich are raw materials for Hi-Tech industries / P.G. Kudryavtsev // Journal «Scientific Israel – Technological Advantages». – 2014. – Vol. 16, N 2. – P. 147–170.
7. Evans K.A. Properties and uses of aluminiumoxides and aluminium hydroxides // *The Chemistry of Aluminium, Indium and Gallium* / ed. A.J. Downs. – Published by Blackie Academic, 1993, ISBN 0 7514 0103 X.
8. Белоцерковский Г.М., Сасин Э.М., Плаченов Т.Г. // ЖПХ. – 1969. – Т. 12, № 6. – С. 1325–1330.
9. Комарова, Т.И. Получение связки на основе 5/6 оксихлорида алюминия/ Т.И. Комарова, Т.Ф. Корнеева // Нестроительные вяжущие вещества: сб. – Л., 1975. – С. 52–56.
10. Сычев, М.М. Неорганические клеи / М.М. Сычев. – 2-е изд. – Л.: Химия, 1986. – 152 с.
11. Барвинок, Г.М., Сычев М.М., Воронович А.Н., Богомолов Н.Н. // Неорганические материалы. – 1979. – Т. 15, № 1. – С. 2067–2069.
12. Безлепкии, В.А., Гордеев С.Я., Дегтярева Э.В. // Изв. вузов. Хим. и хим. технол. – 1982. – Т. 25, вып. 6. – с. 740–743.
13. Белоцерковский Г.М., Кузнецова В.Н., Плаченов Т.Г. // ЖПХ. – 1969. – Т. 13, № 7. – С. 1485–1490.
14. Сычев, М. М. // Цемент. – 1975. – № 3. – С. 9–10.
15. Сычев, М.М., Архинчеева Н.В., Нахленова Г.Д. // Неорг. материалы. – 1978. – Т. 14, № 6. – С. 1153–1155.
16. Комарова, Т.И., Сычев М.М., Гришко А.А. // Физическая химия и технология силикатных материалов. – Л.: ЛТИ, 1978. – Вып. 6. – С. 113–118.
17. Data published annually by World Aluminium, London. –URL: <http://www.world-aluminium.org>

18. Figovsky, O. Advanced Nanomaterials Based On Soluble Silicates / O. Figovsky, P. Kudryavtsev // Journal «Scientific Israel – Technological Advantages». – 2014. – Vol. 16, N 3. – P. 38–76.

19. Кудрявцев, П.Г. Наноструктурированные материалы, получение и применение в строительстве / П.Г. Кудрявцев, О.Л. Фиговский // Нанотехнологии в строительстве. – 2014. – Т. 6, № 6. – С. 27–45. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2014-6-6-27-45

Referentes

¹1. Figovsky O., Beilin D. Advanced Polymer Concretes and Compounds @ CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013, 245 pp.

2. Kudryavtsev, P.G. Sol-gel processes and some of its technological applications / P.G. Kudryavtsev, V.V. Volhin // Sol-gel processes for obtaining inorganic materials: Tez. Doc. Seminar. – Perm, 1991. – P. 3–5.

3. Kudryavtsev, P.G. Methods for producing metal oxyhydrate sols used as binders for forming inorganic composites / P.G. Kudryavtsev, O.B. Kavalerova // Composite materials based on disperse systems: Sb. Scientific. Works. – Ekaterinburg: UB RAS, 1994. – P.21–29.

4. Preparation and stabilization of solutions of metal oxides / P.G. Kudryavtsev, O.B. Kavalerova, I.L. Kazakova, V.V. Volkhin // Sol-gel processes for the preparation of inorganic materials: Tez. Doc. Seminar. – Perm, 1991. – P.33.

5. Preparation of aluminum oxide of special purity: overview information. Series: Reagents and extrapuresubstances. – M.: NIITHIM, 1987. – 40 p.

6. Kudryavtsev, P.G. Alkoxides of chemical elements – promising class of chemical compounds wich are raw materials for Hi-Tech industries / P.G. Kudryavtsev // Journal «Scientific Israel – Technological Advantages». – 2014. – Vol. 16, N 2. – P. 147–170.

7. Evans K.A. Properties and uses of aluminium oxides and aluminium hydroxides / K.A. Evans // The Chemistry of Aluminium, Indium and Gallium / ed. A.J. Downs. – Published by Blackie Academic, 1993. – ISBN 0 7514 0103 X.

8. Belotserkovsky, G.M., Sasin E.M., Plachenov T.G. // ZhPKh. – 1969. – Vol. 12, No. 6. – P. 1325–1330.

9. Komarova, T.I. Obtaining a binder based on 5/6 aluminum oxychloride / T.I. Komarova, T.F. Korneeva // Non-destructive astringents. – L., 1975. – P. 52–56.

10. Sychev, M.M. Inorganic adhesives / M.M. Sychev. – 2 nd ed. – L.: Chemistry, 1986. – 152 p.

11. Barvinok G.M., Sychev M.M., Voronovich A.H., Bogomolov N.N. // Inorg. Materials. – 1979. – Vol. 15, No. 1. – P. 2067–2069.

12. Bezlepkina, V.A., Gordeev S.Ya., Degtyareva E.V. // Izv. Universities. Chem. And chemical. Technol. – 1982. – Vol. 25, no. 6. – P. 740–743.

13. Belotserkovsky, G.M., Kuznetsova V.N., Plachenov T.G // ZhPKh. – 1969. – Vol. 13, No. 7. – P. 1485–1490.

14. Sychev, M. M. // Cement. – 1975. – No. 3. – P. 9–10.

15. Sychev, M.M., Archincheyeva N.V., Nahlenova G.D. // Neorg. Materials. – 1978. – Vol. 14, No. 6. – P. 1153–1155.

16. Komarova, T.I., Sychev M.M., Grishko A.A. // Physical Chemistry and Technology of Silicate Materials. – Leningrad: LTI, 1978. – No. 6. – P. 113–118.

17. Data published annually by World Aluminium, London. – URL: <http://www.world-aluminium.org>

18. Figovsky, O. Advanced Nanomaterials Based On Soluble Silicates / O. Figovsky, P. Kudryavtsev // Journal «Scientific Israel – Technological Advantages». – 2014. – Vol. 16, N 3. – P. 38–6.

19. Kudryavtsev, P.G. Nanostructured materials, production and use in construction / P.G. Kudryavtsev, O.L. Figovsky // Nanotechnology in construction. – 2014. – Vol. 6, No. 6. – P. 27–45. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2014-6-6-27-45

¹ERENTES

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

*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

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ БЕТОНОВ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ОСЕВОМ СЖАТИИ

И.Н. Максимова

Приведен анализ структурных изменений песчаных бетонов с оценкой объемного деформирования, коэффициентов поперечной деформации, уровня расположения критических параметрических точек, упругих характеристик на кривой нагружения в зависимости от интенсивности осевого сжатия и особенностей структуры цементных песчаных композитов, обусловленных генезисом кварцевого песка.

Ключевые слова: песчаный бетон, структура, прочность, деформативность, коэффициенты поперечной деформации, объемные деформации, параметрические точки, упругие характеристики, диаграмма состояния осевого сжатия

STRUCTURAL CHANGES OF SANDY CONCRETE WITH SHORT-TERM AXIAL COMPRESSION

I.N. Maksimova

The analysis of structural changes of sandy concrete with estimation of volume deformation, coefficients of transverse deformation, The level of critical parametric points location, elastic characteristics on the loading curve depending on the intensity of axial compression and features of the structure of cement sand composites due to the genesis of quartz sand is given.

Keywords: sandy concrete, structure, strength, deformability, coefficients of transverse deformation, volume deformations, parametric points, elastic characteristics, state diagram of axial compression

В [1, 2] отмечено, что раскрытие функциональной связи между действующими напряжениями и деформациями $\sigma = f(\varepsilon)$ представляет собой одно из важнейших направлений механики деформируемого твердого тела и является одним из основных этапов в изучении механического поведения цементных систем, так как в диаграмме сжатия и растяжения отражается связь деформативных и прочностных свойств любых твердых тел конструкционного назначения.

Исследования [3–5] позволили связать характерную форму этой кривой с физическими процессами деформирования и разрушения бетона.

Для практических оценок диаграмм состояния под кратковременной нагрузкой необходимо располагать данными по крайней мере о двух параметрах кривой $\sigma - \varepsilon$: начальном модуле деформации и предельной деформации, которые применяют для расчета элементов конструкций и которые существенно зависят от особенностей структуры бетона [6].

Между тем, как подчеркнуто в [6], свойства бетона наиболее отчетливо проявляются при анализе его объемных деформаций, так как анализ объемного деформи-

рования бетона при сжатии (основном виде сопротивления материала в конструкции) и изменения величин модуля деформации и дифференциального коэффициента поперечной деформации с нагрузкой показывает, что по диаграмме состояний бетона можно судить об изменениях указанных характеристик деформирования.

Если исходить из принятой в исследовательской практике двухкомпонентной мезо- и макроструктурной модели бетона, то важнейшими структурными элементами композита являются цементный камень (матрица), зерно заполнителя (дисперсная фаза) и их сцепление. В связи с этим свойства бетона определяются прочностью, деформативностью, объемом цементного камня и заполнителя. Они зависят также от генезиса, геометрических и петрографических характеристик заполнителя, сцепления их с цементным камнем, от характера и числа макро- и микродефектов структуры матрицы и зоны сцепления.

Целью нашего исследования являлся анализ объемного деформирования и структурных изменений при осевом сжатии песчаных бетонов (ПБ) трех серий опытных образцов: ПБВ, ПБК, ПБС – с призменной прочностью в диапазоне от 26 до 96 МПа, изготовленных с использованием трех видов кварцевого песка разного генезиса: вольского стандартного, константиновского карьерного и сурского речного, геометрические характеристики которых приведены в [7].

При изготовлении опытных образцов всех серий матричная фаза, то есть цементное тесто, принималась нормальной густоты с В/Ц=0,25. Однако разная дисперсность принятых кварцевых песков и разное содержание пылевидных частиц приводило к разной водопотребности принятых песков, что, в свою очередь, приводило к заметному изменению общего В/Ц отношения сравниваемых составов. При этом консистенция цементно-песчаных смесей всех серий образцов была нормальной густоты и характеризовалась распылом конуса на встряхивающем столике в пределах 168–172 мм. Расчетные составы опытных образцов сравниваемых песчаных бетонов приведены в табл. 1.

Механические испытания образцов с использованием тензометрического метода замера деформаций проводили в зрелом возрасте песчаного бетона 59–60 суток.

Т а б л и ц а 1

Расчетные составы опытных образцов ПБ

Серия образцов	Вид кварцевого песка	Соотношение Ц : П по массе	Соотношение ЦТ : ПК по объему, %	Водопотребность песка по массе, %	В/Ц _{общ}	Расход цемента в ПБ смеси, кг/м ³
ПБВ–1	стандартный	1 : 1	60,8 : 39,2	1,3	0,263	1037
ПБВ–1,5		1 : 1,5	53 : 47	4,0	0,31	833
ПБВ–2		1 : 2	47,5 : 52,5	5,5	0,36	695
ПБВ–3		1 : 3	41,2 : 58,8	7,3	0,47	519
ПБК–1	карьерный	1 : 1	62,8 : 37,2	6,5	0,315	984
ПБК–1,5		1 : 1,5	55 : 45	8,0	0,37	793
ПБК–2		1 : 2	50,3 : 49,7	9,6	0,442	657
ПБК–3		1 : 3	44,6 : 55,4	11,3	0,59	488
ПБС–1	речной	1 : 1	62,6 : 37,4	6,0	0,31	989
ПБС–1,5		1 : 1,5	54,8 : 45,2	7,7	0,365	797
ПБС–2		1 : 2	50 : 50	9,2	0,435	660
ПБС–3		1 : 3	44,2 : 55,8	10,8	0,575	492

П р и м е ч а н и е : ЦТ – цементное тесто, ПК – песок кварцевый

В соответствии с методическими рекомендациями [8] структурные изменения бетона в процессе его нагружения можно характеризовать рядом параметров, среди которых следует назвать коэффициент поперечной деформации ν и его приращения $\Delta\nu$, объемные относительные деформации θ и их приращения $\Delta\theta$, по характеру изменения которых оценивают уровни расположения параметрических точек R_T^0 и R_T^v

на диаграмме нагружения, которые, в свою очередь, являются критическими точками структурных изменений под сжимающей нагрузкой. Впервые на информативность структурных изменений бетона при достижении точек R_T^0 и R_T^v обратил внимание проф. О.Я. Берг.

На рис. 1–4 представлены графические зависимости изменения относительного объема $\theta = \varepsilon_1 - 2\varepsilon_2$ и его приращений $\Delta\theta = \Delta\varepsilon_1 - 2\Delta\varepsilon_2$, коэффициента поперечных относительных полных деформаций $\nu = \varepsilon_2/\varepsilon_1$ и его приращений $\Delta\nu = \Delta\varepsilon_2/\Delta\varepsilon_1$ при кратковременном нагружении при сжатии в зависимости от относительной величины напряжения (η) и особенностей структуры песчаных бетонов сравниваемых серий образцов ПБВ, ПБК и ПБС, построенных по осредненным значениям контролируемых параметров из испытания трех образцов-призм каждой серии. На каждом рисунке (см. рис. 1–4) показан графически характер и диапазон изменения относительного объема θ на диаграмме нагружения двумя наиболее характерными зависимостями θ_1 и θ_2 .

На рис. 1 представлены графики изменения θ и $\Delta\theta$, ν и $\Delta\nu$ опытных образцов серий ПБВ, ПБК и ПБС при Ц : П = 1 : 1 в зависимости от интенсивности напряжения η .

Из анализа графических зависимостей $\theta(\Delta\theta) = f(\eta)$ и $\nu(\Delta\nu) = f(\eta)$ следует, прежде всего, отметить, что названные параметры структурных изменений бетона при кратковременном приложении нагрузки обусловлены как интенсивностью нагружения η , так и генезисом кварцевого песка, использованного для изготовления сравниваемых серий образцов ПБ.

Как отмечено в [6], на кривой суммарного изменения объема величине R_T^v соответствует наибольшее уменьшение внешнего объема образца $\Delta\theta = 0$, а величина дифференциального коэффициента поперечной деформации $\Delta\nu$ достигает значения 0,5, что означает равенство величин объемных деформаций сжатия и растяжения материала. Однако при более высоких уровнях напряжения процесс разрушения структуры материала прогрессирует очень интенсивно.

По этим параметрам структурных изменений и уровню достижения R_T^v менее совершенной структурой обладали образцы серий ПБВ, для которых R_T^v по параметрам $\Delta\theta$ и $\Delta\nu$ соответствовала уровню напряжения $0,84 \cdot R_{np}$. Для образцов серии ПБК R_T^v соответствовала уровню напряжения $0,94 \cdot R_{np}$. Образцы же ПБ серии ПБС на сурском песке практически не показали достижения параметрической точки R_T^v и характеризовались весьма хрупким разрушением.

На рис. 2 представлены графики изменения θ и $\Delta\theta$, ν и $\Delta\nu$ опытных образцов серий ПБК, ПБВ и ПБС при Ц : П = 1 : 1,5 в зависимости от интенсивности напряжения η .

По уровню достижения параметрической точки R_T^v и в этой серии образцов ПБ менее совершенной структурой обладали ПБВ, для которых R_T^v соответствовала уровню напряжения $0,87 \cdot R_{np}$, а для серии образцов ПБК и ПБС R_T^v находилась на уровне напряжения $0,91$ и $0,92 \cdot R_{np}$ соответственно.

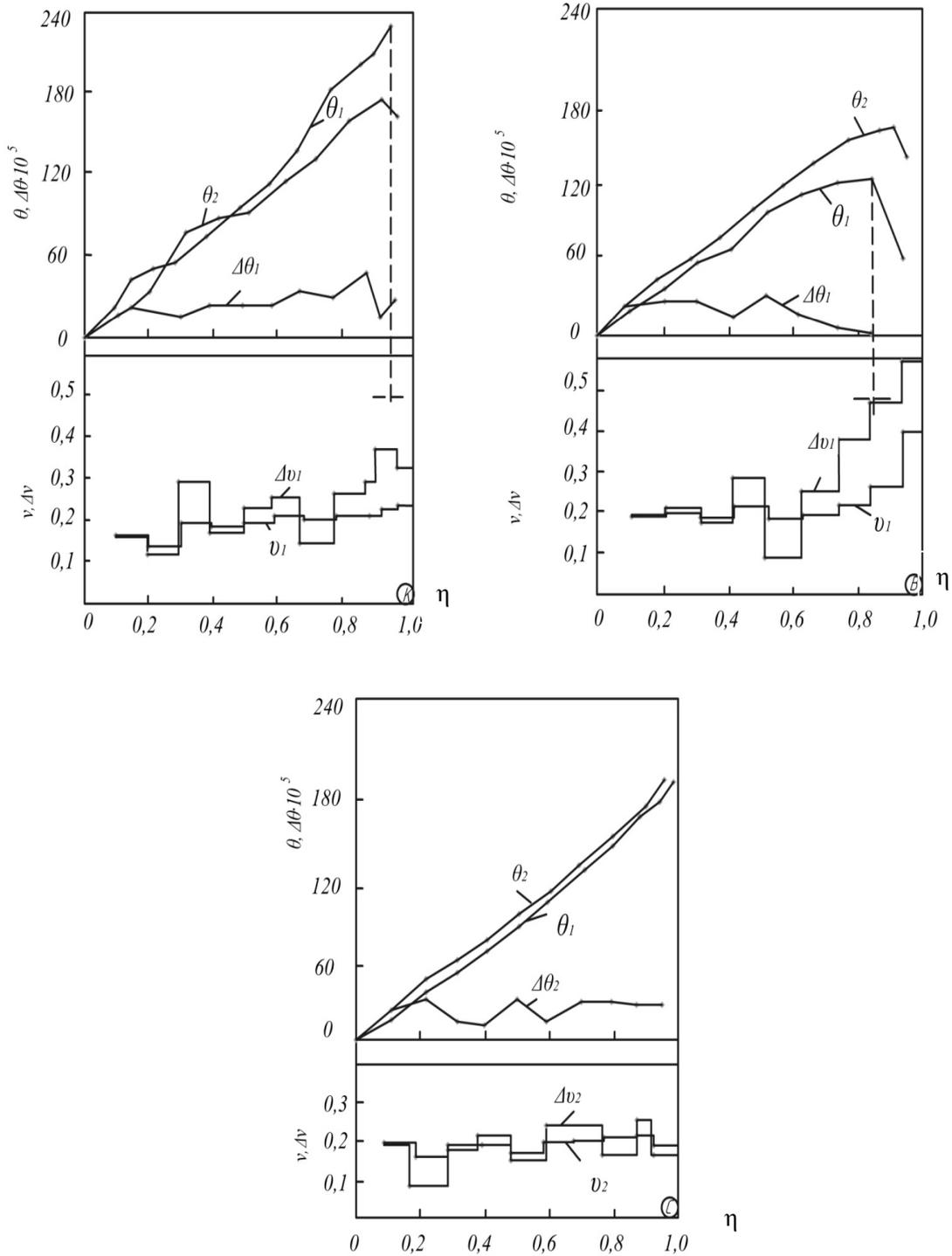


Рис. 1. Зависимости изменения относительного объема θ и его приращения $\Delta\theta$, коэффициента Пуассона ν и его приращения $\Delta\nu$ песчаного бетона состава Ц : П = 1 : 1 на константиновском, вольском и сурском песках от интенсивности нагружения при осевом сжатии

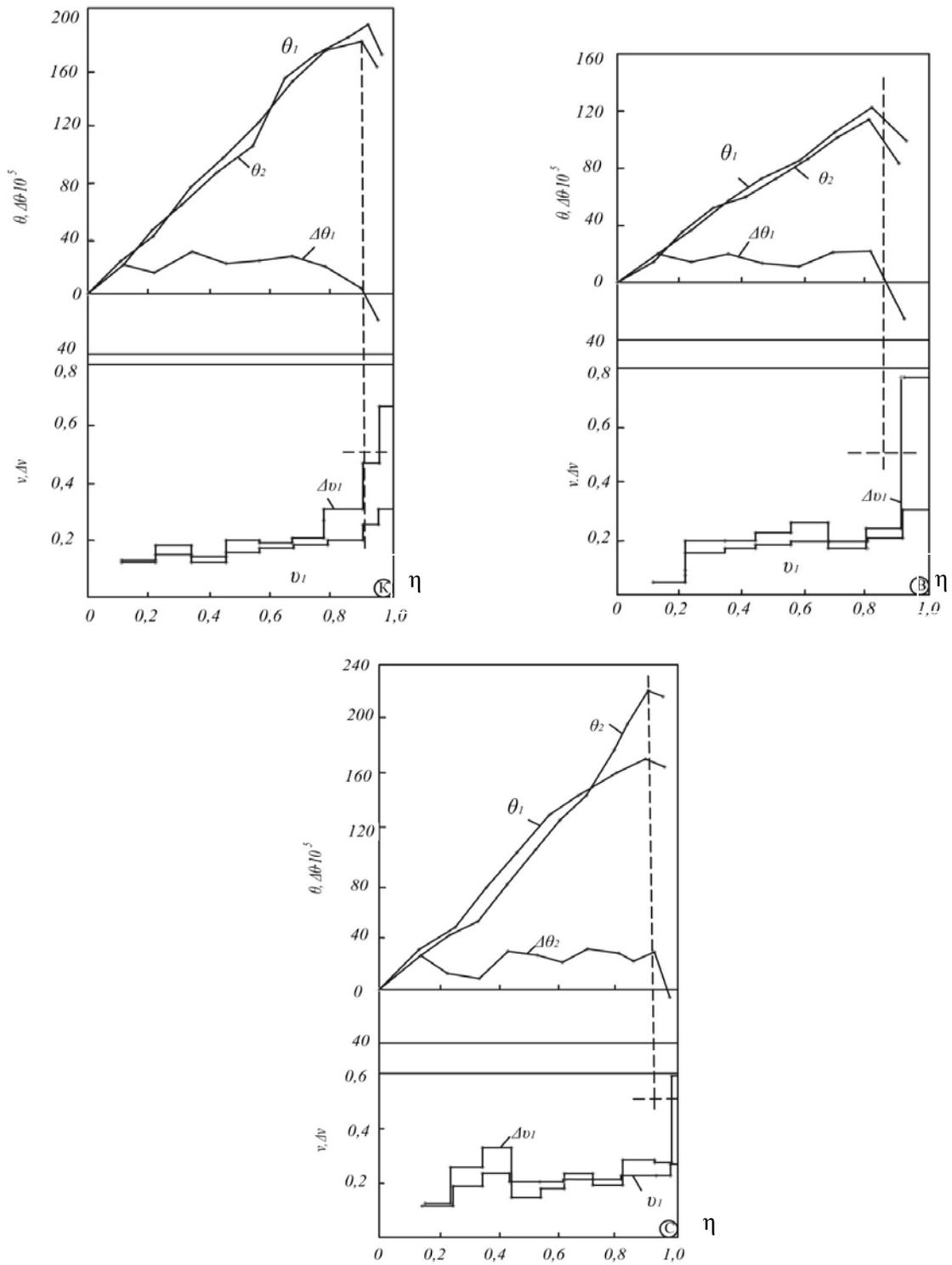


Рис. 2. Зависимости изменения относительного объема θ и его приращения $\Delta\theta$, коэффициента Пуассона ν и его приращения $\Delta\nu$ песчаного бетона состава Ц : П = 1 : 1,5 на константиновском, вольском и сурском песках от интенсивности нагружения при осевом сжатии

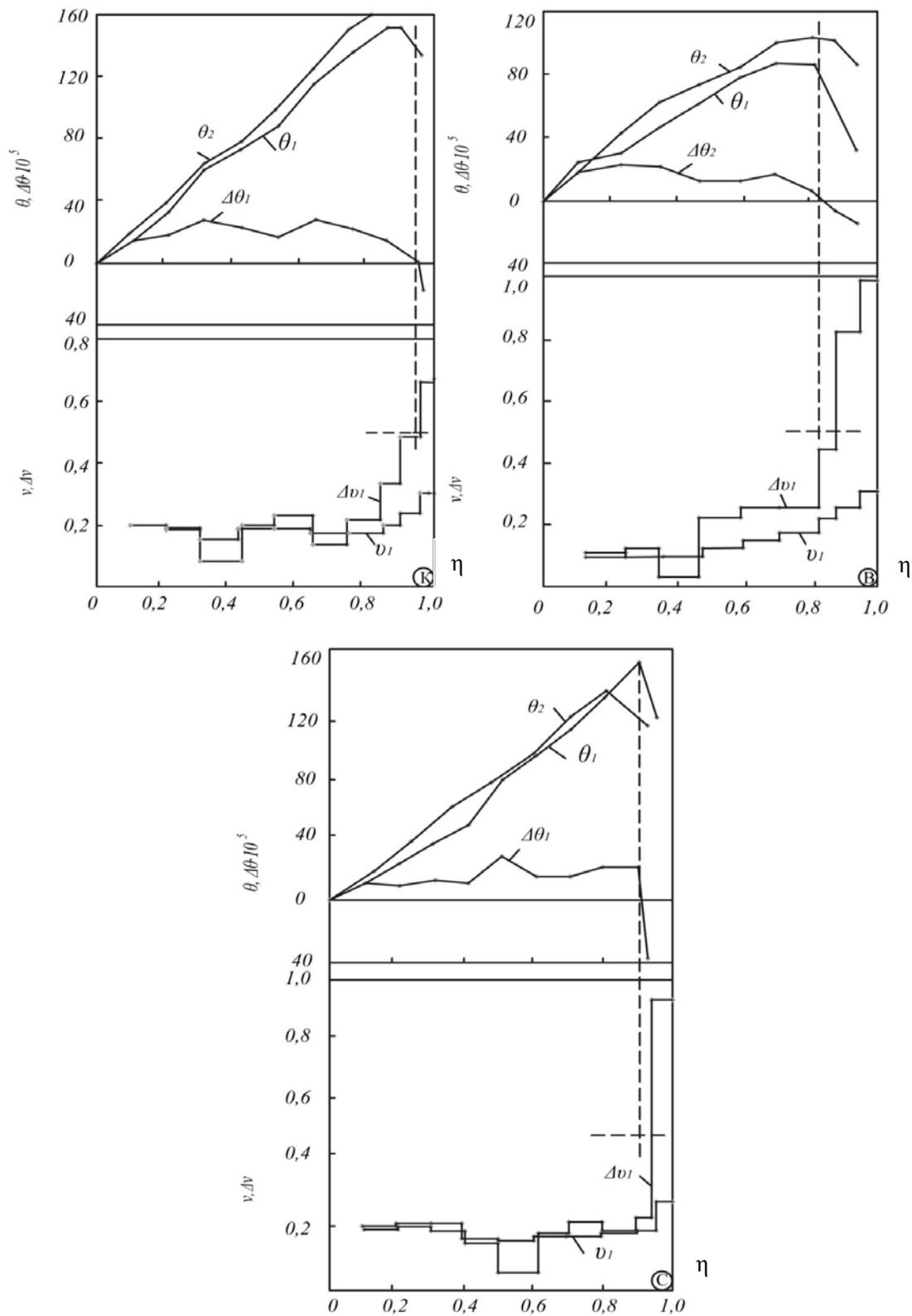


Рис. 3. Зависимости изменения относительного объема θ и его приращения $\Delta\theta$, коэффициента Пуассона ν и его приращения $\Delta\nu$ песчаного бетона состава Ц : П = 1 : 2 на константиновском, вольском и сурском песках от интенсивности нагружения при осевом сжатии

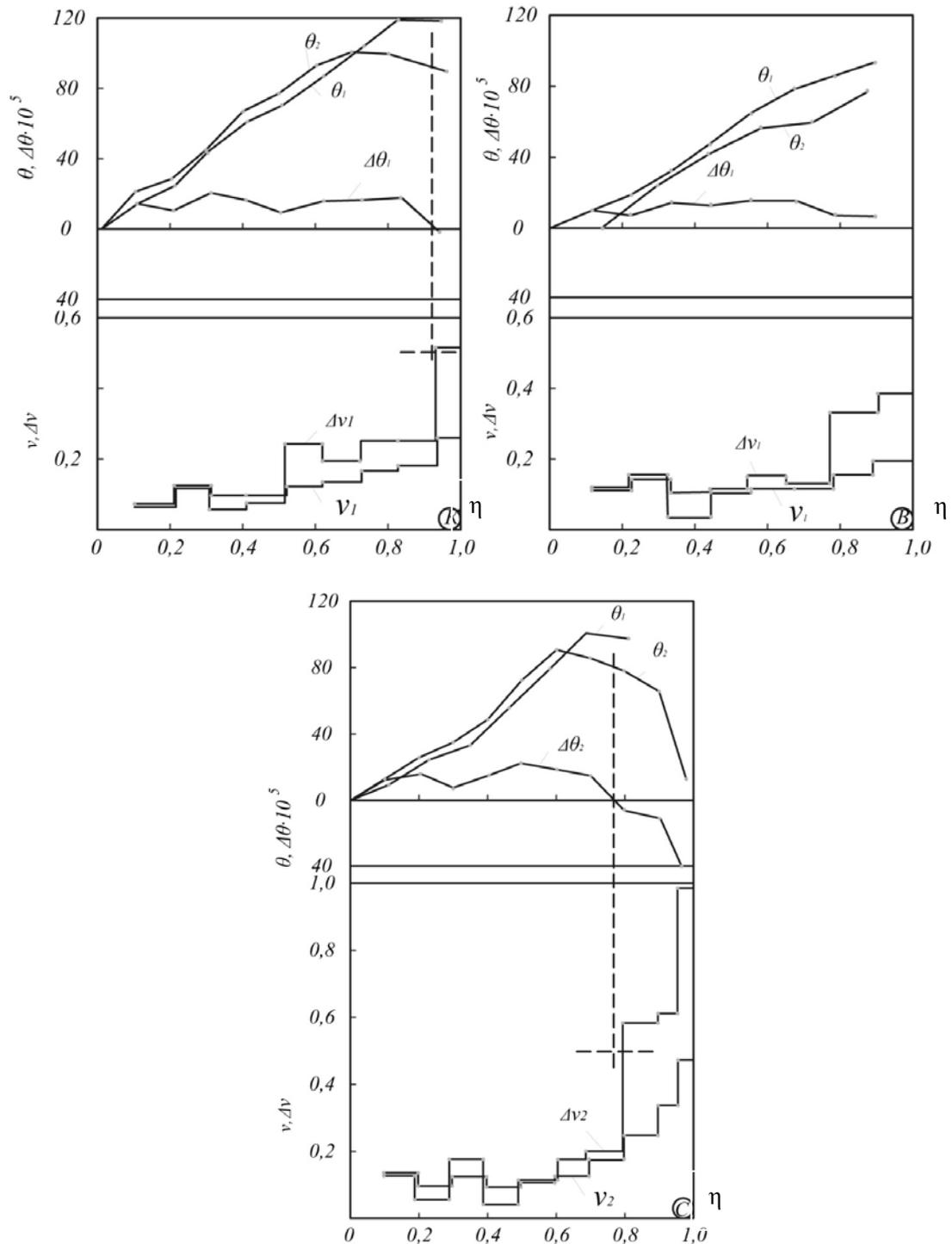


Рис. 4. Зависимости изменения относительного объема θ и его приращения $\Delta\theta$, коэффициента Пуассона ν и его приращения $\Delta\nu$ песчаного бетона состава Ц : П = 1 : 3 на константиновском, вольском и сурском песках от интенсивности нагружения при осевом сжатии

На рис. 3 представлены графики изменения θ и $\Delta\theta$, ν и $\Delta\nu$ опытных образцов серий ПБВ, ПБК и ПБС при Ц : П = 1 : 2 в зависимости от интенсивности напряжения η .

По уровню достижения параметрической точки R_T^ν в этой серии образцов ПБ менее совершенной структурой обладали образцы серии ПБВ, для которых R_T^ν

соответствовала уровню напряжения $0,83 \cdot R_{пр}$, для образцов серии ПБС – уровню напряжения $0,9 \cdot R_{пр}$, а для образцов серий ПБК – уровню напряжения $0,95 \cdot R_{пр}$.

Наконец, на рис. 4 представлены графики изменения θ и $\Delta\theta$, υ и $\Delta\upsilon$ опытных образцов серий ПБВ, ПБК и ПБС при $\zeta : \Pi = 1 : 3$ в зависимости от интенсивности напряжения η .

По уровню достижения параметрической точки R_T^v в этих сериях образцов ПБ они расположились по мере возрастания уровня R_T^v в последовательности ПБС – ПБК – ПБВ. Самый низкий уровень расположения точки R_T^v , который соответствовал $0,77 \cdot R_{пр}$, показали образцы серии ПБС на сурском песке. Образцы серии ПБК показали уровень расположения R_T^v , равный $0,95 \cdot R_{пр}$, а на образцах серии ПБВ параметрическая точка R_T^v на кривой нагружения не фиксировалась.

С целью более тщательного системно-структурного анализа влияния структурных особенностей сравниваемых песчаных бетонов на характер объемных деформаций и уровень расположения параметрических точек R_T^v на диаграмме сжатия в табл. 2 приведены дополнительные сведения, характеризующие структурные особенности как рассматриваемых компонентов, так и песчаных композитов на их основе.

Т а б л и ц а 2

Структурные характеристики составов песчаных бетонов

Серия	$R_{пр}$, МПа	Суммарная поверхность песка в 1 м^3 ПБ, м^2	Объем цементного теста в 1 м^3 ПБ, м^3	Толщина матричной фазы между зёрнами песка, мкм	Упругая характеристика ПБ при $\eta = 0,3 R_{пр}$, $\mu_{E/R_{пр}}^{0,3}$	Упругая характеристика ПБ при $\eta = 0,94 R_{пр}$, $\mu_{E/R_{пр}}^{0,94}$	Коэффициент изменения упругой характеристики ПБ, $\frac{\mu_{E/R_{пр}}^{0,94}}{\mu_{E/R_{пр}}^{0,3}}$
ПБВ–1	94,4	5885	0,608	206,8	386	305	0,79
ПБВ–1,5	75,0	7099	0,530	149,6	432	360	0,83
ПБВ–2	65,1	7893	0,475	120,6	526	439	0,83
ПБВ–3	26,2	8840	0,412	93,4	847	632	0,74
ПБК–1	88,5	8589	0,628	146,4	356	243	0,68
ПБК–1,5	74,8	10394	0,550	106,0	346	245	0,71
ПБК–2	57,4	11484	0,503	87,8	416	312	0,75
ПБК–3	29,4	12792	0,446	69,8	630	386	0,61
ПБС–1	91,2	10740	0,626	116,6	390	265	0,68
ПБС–1,5	78,8	12999	0,548	84,4	386	276	0,72
ПБС–2	63,2	14368	0,501	69,8	453	317	0,7
ПБС–3	31,7	16051	0,442	55,0	667	412	0,62

Как известно, структура цементного камня видоизменяется в зонах контакта с частицами заполнителя в песчаном композите, как это показано в [9], то есть структурообразование цементного камня происходит по-разному в объеме толщины прослойки матричной фазы и на границе с заполнителем. В [6] отмечено, что наибольшая степень упрочнения наблюдается на границе с кварцем, а толщина упрочненных слоев на границе составляет примерно 20 мкм.

С учетом разной дисперсности принятых в исследовании кварцевых песков, обладающих, соответственно, разной удельной поверхностью, происходит не только заметное изменение толщины матричной фазы между зернами песка в ПБ при одинаковых Ц : П отношениях по массе, но и проявляется при этом различный эффект объемной степени упрочнения цементного камня в зависимости от названной толщины упрочненных слоев с учетом эффективной поверхности кварцевого заполнителя.

В связи с этим для повышения надежности оценок диаграмм состояния от особенностей структуры сравниваемых композитов необходимо расширение комплекса параметров, отражающих механическое поведение образцов на диаграмме нагружения. На наш взгляд, таким параметром может являться упругая характеристика бетона μ и характер ее изменения на диаграмме нагружения. Величину μ определяют из отношения модуля деформации E на каждом этапе нагружения к призмочной прочности $R_{пр}$ опытных образцов.

Как следует из экспериментальных данных табл. 2, упругая характеристика бетонов зависит как от состава ПБ, так и от уровня загрузки опытных образцов.

Вместе с тем характер изменения упругой характеристики ПБ при переходе от интенсивности нагружения, равной $0,3 \cdot R_{пр}$, к уровню напряжения, равному $(0,93-0,95) \cdot R_{пр}$, весьма отчетливо отражает влияние особенностей структуры образцов песчаных бетонов, обусловленных геометрическими факторами строения кварцевого песка, на процессы их деформирования и разрушения.

Как следует из экспериментальных данных табл. 2, упругая характеристика песчаного бетона на каждом виде кварцевого песка заметно возрастает по мере увеличения отношения Ц : П от 1 : 1 до 1 : 3, что, безусловно, предопределено аддитивным влиянием более высокомодульного значения кварцевого песка, несмотря на увеличение при этом общего водоцементного отношения композитной системы.

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующий вывод: полученные в наших опытах экспериментальные данные позволяют констатировать существенное влияние на уровень расположения точки R_T^v на кривой кратковременного нагружения сжатия вида кварцевого песка, рельефа его поверхности, удельной поверхности песка и, соответственно, толщины прослойки матричной фазы – цементного камня между зернами песка.

Список литературы

1. Ахвердов, И.Н. Теоретические основы бетоноведения: учеб. пособие / И.Н. Ахвердов. – Минск: Выш. шк., 1991. – 188 с.
2. Матченко, Н.М. Теория деформирования разносопротивляющихся материалов. Определяющие соотношения / Н.М. Матченко, А.А. Трещев. – Тула: ТулГУ, 2000. – 149 с.
3. Берг, О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона / О.Я. Берг. – М.: Госстройиздат, 1961. – 96 с.
4. Берг, О.Я. Некоторые вопросы теории деформации и прочности бетона / О.Я. Берг // Строительство и архитектура. – 1967. – №10. – С. 41–55.
5. Яшин, А.В. О некоторых деформативных особенностях бетона при сжатии / А.В. Яшин // Теория железобетона. – М.: НИИЖБ, 1972. – С. 131–137.
6. Берг, О.Я. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко; под ред. д-ра техн. наук. проф. О.Я. Берга. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. – 208 с.
7. Структура, деформативность, прочность и критерии разрушения цементных композитов / Н.И. Макридин [и др.]; под ред. В.И. Соломатова. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2001. – 280 с.

8. Методические рекомендации по определению прочностных и структурных характеристик бетонов при кратковременном и длительном нагружении. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1976. – 57 с.

9. Любимова, Т.Ю. Особенности кристаллизационного твердения минеральных вяжущих веществ в зоне контакта с различными твердыми фазами (заполнителями) / Т.Ю. Любимова // Физико-химическая механика дисперсных систем: сб. – М.: Наука, 1966. – С. 268–279.

References

1. Ahverdov, I.N. Theoretical Foundations of Concrete Studies: tutorial / I.N. Ahverdov. – Minsk: Vyschaja schkola, 1991. – 188 p.

2. Matchenko, N.M. The theory of deformation of dissimilar materials. The defining relations / N.M. Matchenko, A.A. Treshev. – Tula: TulGU, 2000. – 149 p.

3. Berg, O.Ya. Physical foundations of the theory of concrete and reinforced concrete strength / O.Ya. Berg. – M.: Gosstroyizdat, 1961. – 96 p.

4. Berg, O.Ya. Some questions of the theory of deformation and strength of concrete / O.Ya. Berg // Construction and architecture. – 1967. – N10. – P. 41–55.

5. Jaschin, A.V. On some deformative features of concrete under compression / A.V. Jaschin // Theory of reinforced concrete. – M.: NIIZHB, 1972. – P. 131–137.

6. Berg, O.Ya. High-strength concrete / O.Ya. Berg, E.N. Cherbakov, G.N. Pisanko; Ed. Dr. Tech. Sciences. Prof. O.Ya. Berg. – M.: Izd-vo literatury po stroitel'stvu, 1971. – 208 p.

7. Makridin, N.I. Structure, Deformability, Strength and Criteria of Destruction of Cement Composites / N.I. Makridin [etc.]; ed. by V.I. Solomatov. – Saratov: Izd-vo Saratovskogo universiteta, 2001. – 280 p.

8. Methodical recommendations for determining the strength and structural characteristics of concrete for short-term and long-term loading. – М.: NIIZHB Gosstroya SSSR, 1976. – 57 p.

9. L'ubimova, T.Ju. Features of crystallization hardening of mineral binders in the contact zone with various solid phases (aggregates) / T.Ju. L'ubimova // In the collection «Physico-chemical mechanics of disperse systems». – М.: Nauka, 1966. – P. 268–279.

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

*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

СОПОСТАВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ И РАБОТЫ РАЗРУШЕНИЯ

И.Н. Максимова

Приведен анализ структурных изменений песчаных композитов с оценкой предельной деформативности, продольной и поперечной относительной деформации кратковременной ползучести, коэффициента поперечной деформации по пластично-мгновенным деформациям, меры и величины пластичности, а также работы разрушения по полным и пластичным продольным деформациям, обусловленных генезисом кварцевого песка.

Ключевые слова: песчаный бетон, структура, прочность, предельная деформативность, кратковременная продольная и поперечная ползучесть, величина и мера пластичности, удельная работа разрушения

COMPARISON OF SHORT-TERM CREEP DEFORMATIONS AND WORK OF DESTRUCTION

I.N. Maksimova

The author gives an analysis of structural changes in sand composites with estimation of ultimate deformability, longitudinal and transverse relative deformation of short-term creep, the coefficient of transverse deformation by plastic-instantaneous deformations, the level of plasticity, as well as the work of fracture along complete and plastic longitudinal deformations caused by the genesis of quartz sand.

Keywords: sandy concrete, structure, strength, ultimate deformability, short-term longitudinal and transverse creep, magnitude and measure of ductility, specific fracture performance

В [1] на основе проведенных экспериментальных исследований диаграмм кратковременного осевого сжатия представлен анализ графических зависимостей изменения относительного объема $\theta = \varepsilon_1 - 2\varepsilon_2$ и его приращения $\Delta\theta = \Delta\varepsilon_1 - 2\Delta\varepsilon_2$, коэффициента поперечных относительных полных деформаций $\nu = \varepsilon_2/\varepsilon_1$ и его приращений $\Delta\nu = \Delta\varepsilon_2/\Delta\varepsilon_1$ и характер изменения упругой характеристики $\mu = E_i/R_{пр}$ песчаных бетонов различной прочности на трех видах кварцевого песка разного генезиса и модуля крупности.

Проведем сравнительное сопоставление механического поведения макроструктур цементных систем при осевом сжатии на тех же сравниваемых сериях опытных образцов по параметрам продольных и поперечных относительных деформаций кратковременной ползучести ($\varepsilon_{1\text{пм}}$ и $\varepsilon_{2\text{пм}}$) с оценкой работы их деформирования и разрушения ΔA и оценкой вклада кратковременной ползучести образцов на характер изменения процесса разрушения сравниваемых составов и структур цементных композитов серий ПБВ, ПБС и ПБК, обусловленных, с одной стороны, существенным

ростом неоднородности макроструктур сравниваемых образцов в результате заметного изменения объемного соотношения разномодульных составляющих цементных композитов (цементной матрицы и кварцевого заполнителя), а с другой – особенностями кристаллизационного твердения минеральных вяжущих веществ в зоне контакта с различными заполнителями с учетом влияния этой особенности кристаллизационного твердения при изменении толщины прослойки цементной матричной фазы в образцах серий ПБВ, ПБС и ПБК.

На рис. 1–3 представлены результаты экспериментальных исследований кинетики развития продольных полных относительных деформаций ε_1 (рис. 1), продольных относительных деформаций кратковременной ползучести $\varepsilon_{1\text{пм}}$ (рис. 2) и поперечных относительных деформаций кратковременной ползучести $\varepsilon_{2\text{пм}}$ (рис. 3) на диаграммах осевого сжатия четырех серий опытных образцов песчаного бетона с цементно-песчаным соотношением, равным, соответственно, 1:1; 1:1,5; 1:2; 1:3, на трех видах кварцевого песка.

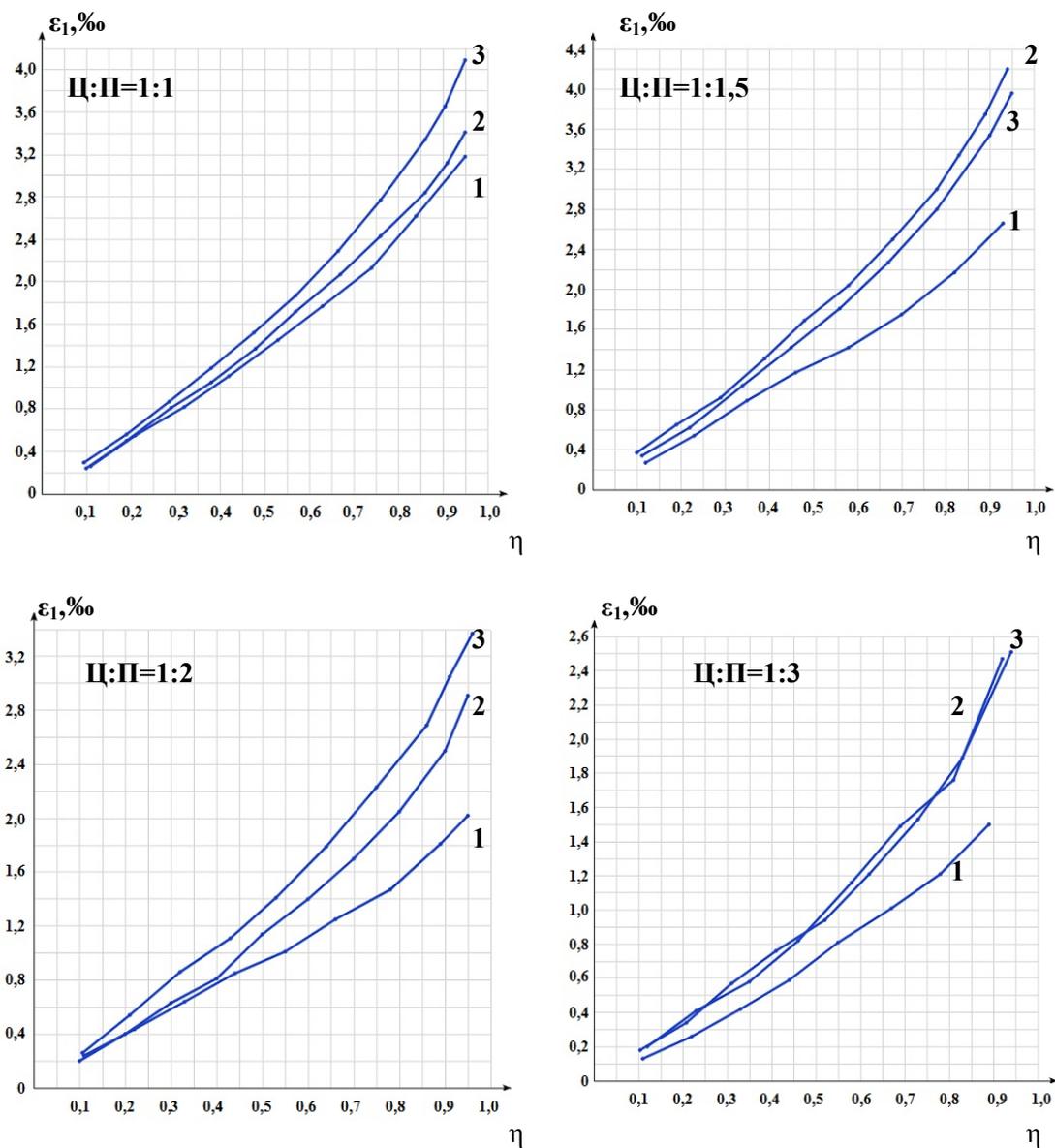


Рис. 1. Зависимость продольной полной относительной деформации ε_1 песчаного бетона от Ц:П отношения на трех видах кварцевого песка и интенсивности напряжения осевого сжатия η :

1 – на вольском песке; 2 – на речном песке; 3 – на карьерном песке

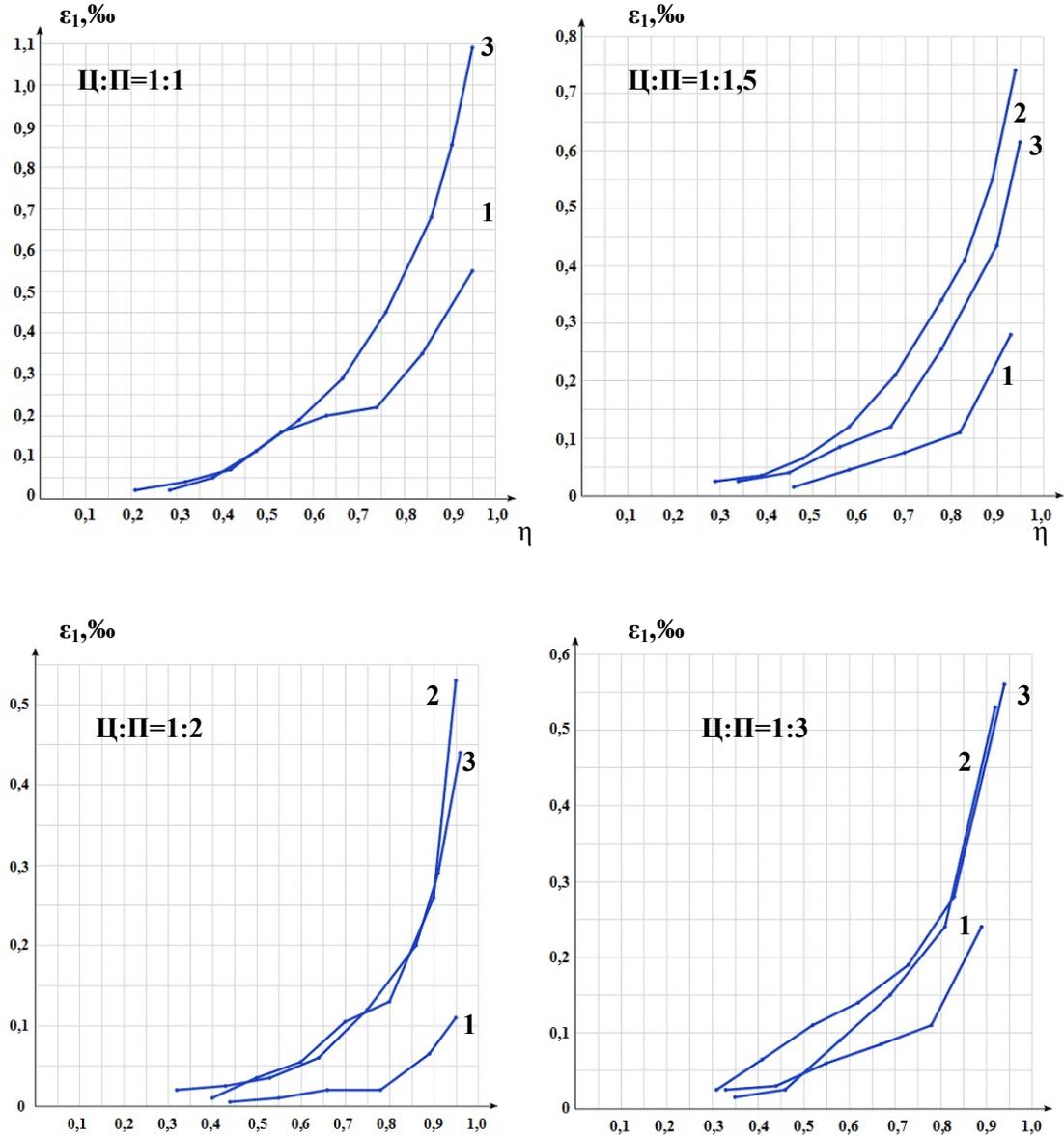


Рис. 2. Зависимость продольной относительной деформации кратковременной ползучести $\varepsilon_{1\text{ пм}}$ песчаного бетона от Ц:П отношения на трех видах кварцевого песка и интенсивности напряжения осевого сжатия η :
 1 – на вольском песке; 2 – на речном песке; 3 – на карьерном песке

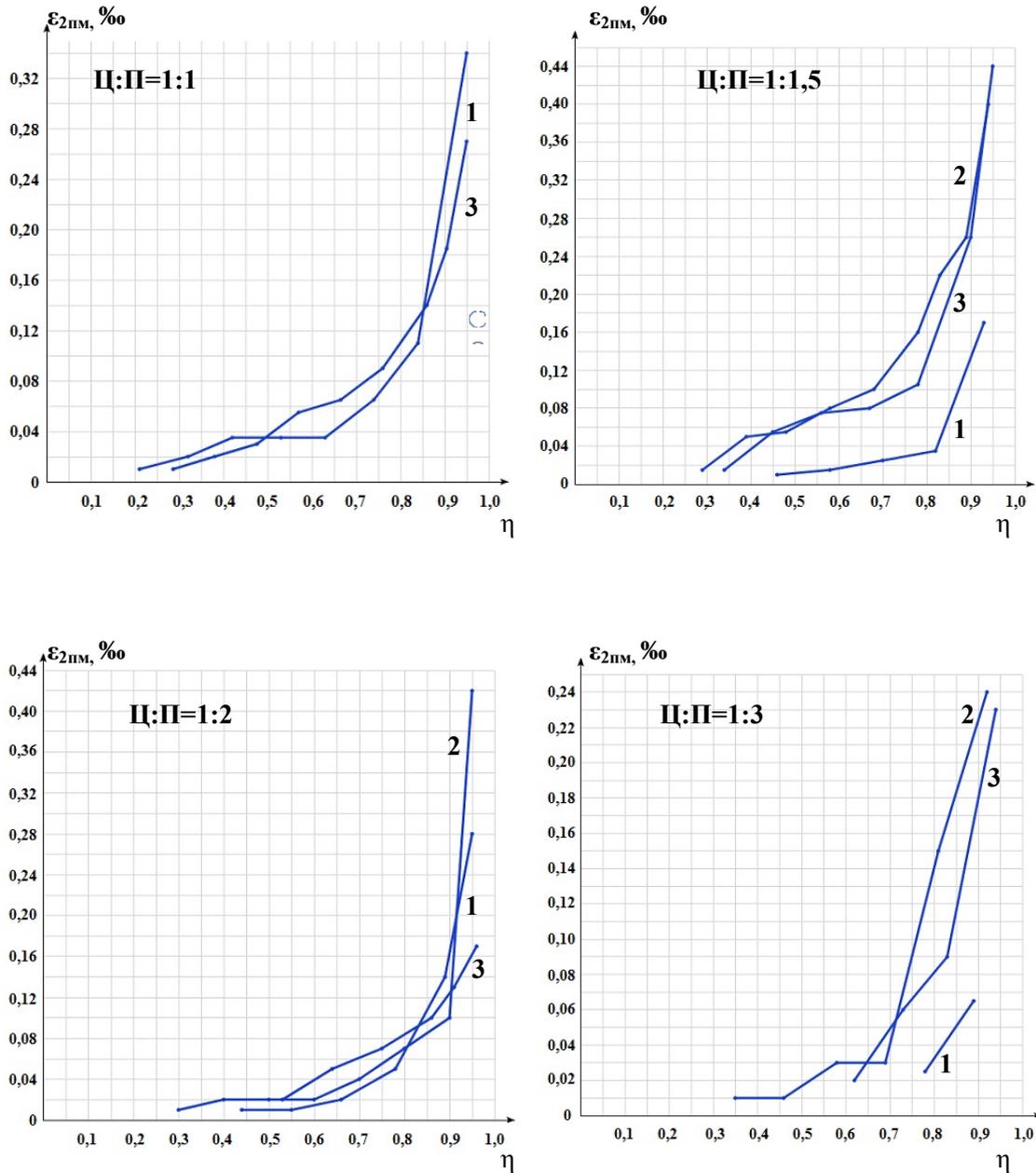


Рис. 3. Зависимость поперечной относительной деформации кратковременной ползучести $\varepsilon_{2пм}$ песчаного бетона от Ц:П отношения на трех видах кварцевого песка и интенсивности напряжения осевого сжатия η :
 1 – на вольском песке; 2 – на речном песке; 3 – на карьерном песке

Анализ экспериментально-графических зависимостей (см. рис. 1) позволяет сформулировать ряд положений о влиянии вида кварцевого заполнителя, то есть его модуля крупности, удельной поверхности, формы и реальной поверхности зерен песка и содержания глинистых частиц [2, 3], на характер зависимостей ε_1 на диаграммах нагружения и максимальные значения величин ε_1 , измеренных в предельном состоянии опытных образцов при $\eta = (0,92 - 0,95)R_{тпр}$. Практически на всех этапах нагружения опытные образцы на речном и карьерном песке с модулем крупности, соответственно, 1,45 и 1,67, относительно образцов на стандартном вольском песке с

модулем крупности, равным 2,7, показывали больший прирост деформаций ε_1 . В предельном состоянии образцов это превышение составляло при Ц:П=1:1 от 7,2 до 28,6 %, а при Ц:П=1:3 – от 64,7 до 67,3 %.

Для сопоставления механического поведения цементных композитов сравниваемых серий опытных образцов на рис. 2 и 3 приведены экспериментальные результаты по изучению как продольных, так и поперечных деформаций кратковременной ползучести $\varepsilon_{1\text{ пм}}$ и $\varepsilon_{2\text{ пм}}$ на диаграммах нагружения.

Из анализа экспериментальных данных, приведенных на рис. 2, прежде всего следует отметить, что проявление деформаций $\varepsilon_{1\text{ пм}}$ на диаграммах нагружения фиксировали при более высоких интенсивностях напряжения относительно деформаций ε_1 . Причем с изменением Ц:П отношения от 1:1 до 1:3 возрастал и уровень интенсивности напряжения фиксации деформаций $\varepsilon_{1\text{ пм}}$ от уровня $(0,2 - 0,26)R_{\text{пр}}$ до уровня $(0,3 - 0,44)R_{\text{пр}}$. На этот уровень интенсивности напряжения заметное влияние оказывал и вид кварцевого заполнителя. При предельных уровнях напряжения продольные деформации кратковременной ползучести $\varepsilon_{1\text{ пм}}$ относительно полной продольной деформации ε_1 для образцов на вольском песке составляли от 5,4 до 17,3 %, на речном песке – от 17,6 до 23,5 % и на карьерном песке – от 13,1 до 26,6 %.

На рис. 3 приведены экспериментальные графические зависимости поперечных относительных деформаций кратковременной ползучести $\varepsilon_{2\text{ пм}}$, полученных на тех же сравниваемых сериях опытных образцов песчаных бетонов. Анализ графических зависимостей рис. 3 позволяет констатировать, что уровень напряжения начала регистрации поперечных деформаций кратковременной ползучести $\varepsilon_{2\text{ пм}}$ расположен на диаграммах нагружения еще выше, чем для деформаций $\varepsilon_{1\text{ пм}}$, при этом отмечается еще больший разброс численных значений деформаций $\varepsilon_{2\text{ пм}}$ на диаграммах нагружения. В связи с этим следует отметить структурные особенности механического поведения образцов с Ц:П отношением 1:2 и 1:3. Так, композитные системы на основе речного песка проявляли деформации $\varepsilon_{2\text{ пм}}$, соответственно, при уровне $\eta = (0,3 - 0,35)R_{\text{пр}}$, на основе карьерного песка – при уровне $\eta = (0,53 - 0,62)R_{\text{пр}}$ и на основе вольского песка – при уровне $\eta = (0,44 - 0,78)R_{\text{пр}}$.

В таблице приведены предельные численные значения величин основных физико-механических свойств цементных композитных систем, которые целесообразно учитывать при совместном анализе графических зависимостей механического поведения опытных образцов, рассматриваемых в данной работе.

Как известно, внешняя сила P совершает работу $\Delta A = P \cdot \Delta V$, где ΔV – перемещение точки приложения силы, часть которой идет на пополнение упругой энергии образца, а часть – на разрушение материала [4]. По предельным деформациям ε_1 и $\varepsilon_{1\text{ пм}}$ опытных образцов была рассчитана работа ΔA как по суммарной деформации ε_1 , так и по деформациям кратковременной ползучести $\varepsilon_{1\text{ пм}}$. Полученные численные значения ΔA по деформациям $\varepsilon_{1\text{ пм}}$, то есть по деформациям разрушения материала сравниваемых серий образцов ПБВ, ПБС и ПБК, свидетельствуют о больших относительных деформациях $\varepsilon_{1\text{ пм}}$ на образцах бетона на основе речного и карьерного кварцевого заполнителя относительно образцов на основе вольского песка, а следовательно, и о больших значениях работы разрушения ΔA от деформации $\varepsilon_{1\text{ пм}}$, что приводит к изменению характера разрушения сравниваемых серий образцов и к разному уровню расположения параметрической точки R_r^v на диаграмме нагружения сжатия образцов.

Физико-механические свойства цементных дисперсных систем

Серия образцов	Соотношение Ц:П по массе	$R_{пр}$, МПа	Пределные значения деформаций, %			$\nu_{пм} = \frac{\varepsilon_{2 пм}}{\varepsilon_{1 пм}}$	Мера пластичности $C = \frac{\varepsilon_{пм}}{\sigma}$, % / МПа, при $\sigma = 0,55R_{пр}$	Величина пластичности $\varphi = \frac{\varepsilon_{пм}}{\varepsilon_1}$ при $0,55R_{пр}$	ΔA по ε_1 , кДж/м ³	ΔA по $\varepsilon_{пм}$, кДж/м ³	Модуль деформации при $0,35R_{пр}$, МПа	$\Delta A_{\varepsilon_1} / 1$ кг цемента
			ε_1	$\varepsilon_{1 пм}$	$\varepsilon_{2 пм}$							
ЦБВ-1	1:1	95	3,18	0,55	0,34	0,62	$3,18 \cdot 10^6$	0,110	151,0	26,1	37073	0,146
ЦБВ-1,5	1:1,5	75	2,66	0,28	0,17	0,61	$1,03 \cdot 10^6$	0,032	99,8	10,5	29494	0,12
ЦБВ-2	1:2	67,6	2,02	0,11	0,28	2,5	$0,27 \cdot 10^6$	0,010	68,3	3,7	34856	0,098
ЦБВ-3	1:3	28,1	1,5	0,24	0,065	0,27	$3,9 \cdot 10^6$	0,074	21,1	3,4	22078	0,04
ЦБС-1	1:1	91,9	3,41	0,8	0,34	0,425	$3,8 \cdot 10^6$	0,116	156,7	36,8	33005	0,158
ЦБС-1,5	1:1,5	82,6	4,2	0,74	0,4	0,54	$2,5 \cdot 10^6$	0,059	173,5	30,6	24590	0,218
ЦБС-2	1:2	62,5	2,91	0,53	0,42	0,79	$1,12 \cdot 10^6$	0,031	90,9	16,6	30864	0,138
ЦБС-3	1:3	32,5	2,47	0,53	0,24	0,45	$4,77 \cdot 10^6$	0,078	40,1	8,6	19612	0,081
ЦБК-1	1:1	92,0	4,09	1,09	0,27	0,25	$3,6 \cdot 10^6$	0,102	188,1	50,1	29627	0,191
ЦБК-1,5	1:1,5	72,5	3,96	0,615	0,44	0,72	$2,1 \cdot 10^6$	0,047	143,6	22,3	23702	0,181
ЦБК-2	1:2	58,3	3,37	0,44	0,17	0,39	$1,13 \cdot 10^6$	0,025	98,2	12,8	21693	0,149
ЦБК-3	1:3	30,0	2,51	0,56	0,23	0,41	$7,05 \cdot 10^6$	0,117	37,6	8,4	16316	0,077
ЦК-1	В/Ц=0,25	140,6	7,05	1,97	0,24	0,12	$7,36 \cdot 10^6$	0,165	495,6	138,5	24259	0,284
ЦК-2	В/Ц=0,31	105,0	6,42	1,95	0,59	0,3	$6,02 \cdot 10^6$	0,118	337,0	102,4	20833	0,213

Следует отметить, что меру пластичности сравниваемых образцов цементных композитов оценивали при уровне напряжения $\sigma = 0,55R_{пр}$, а величину пластичности $\varepsilon_{1\text{ пм}}/\varepsilon_1$ – по предельным значениям деформаций, приведенным в таблице. Коэффициент поперечной деформации $\nu_{\text{пм}} = \varepsilon_{2\text{ пм}}/\varepsilon_{1\text{ пм}}$ оценивали также по предельным значениям деформаций $\varepsilon_{1\text{ пм}}$ и $\varepsilon_{2\text{ пм}}$.

Анализируя численные значения этих параметров деформативности, можно уверенно констатировать значительное влияние названных выше характеристик трех видов кварцевого заполнителя на механическое поведение и параметры структурной механики разрушения сравниваемых серий опытных образцов и сделать вывод о том, что использование речного и карьерного песков позволяет получать более вязкую структуру песчаного композита с более высоким уровнем расположения параметрических точек на диаграмме нагружения, что, в свою очередь, обуславливает и более эффективную удельную работу разрушения композитов на единицу вязущего вещества.

Список литературы

1. Деформативные особенности цементного камня и цементно-песчаных композитов на диаграмме осевого сжатия / И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, Ю.П. Скачков, Ю.В. Полубарова // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №3 (28). – С. 5–13.
2. Структура, деформативность, прочность и критерии разрушения цементных композитов / Н.И. Макридин [и др.]; под ред. В.И. Соломатова. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2001. – 280 с.
3. Прочность и параметры разрушения цементных композитов / И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, В.Т. Ерофеев, Ю.П. Скачков. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 360 с.
4. Партон, В.З. Механика разрушения: От теории к практике / В.З. Партон. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 240 с.

References

1. Deformative features of cement stone and cement-sand composites on the diagram of axial compression / I.N. Maksimova, N.I. Makridin, Yu.P. Skachkov, Yu.V. Polubarova // Regional architecture and engineering. – 2016. – N3 (28). – P. 5–13.
2. Structure, Deformability, Strength and Criteria of Destruction of Cement Composites / N.I. Makridin [etc]; ed. by V.I. Solomatov. – Saratov: Publishing house Saratov University, 2001. – 280 p.
3. Strength and parameters of destruction of cement composites / I.N. Maksimova, N.I. Makridin, V.T. Erofeev, Yu.P. Skachkov. – Saransk: Publishing house Mordov. University, 2015. – 360 p.
4. Parton, V.Z. Mechanics of destruction: From theory to practice / V.Z. Parton. – M.: Nauka. Home edition of physical and mathematical literature, 1990. – 240 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

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ: СЛУЧАЙ КРАТНЫХ КОРНЕЙ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

В приложении к разработке материалов с регулируемой структурой и свойствами предлагается методика параметрической идентификации кинетических процессов формирования их физико-механических характеристик. Основное внимание уделяется определению параметров математической модели кинетических процессов для случая кратных корней характеристического полинома.

Ключевые слова: композиты, формирование свойств, кинетические процессы, параметрическая идентификация, корневые методы, кратные корни

IDENTIFICATION OF KINETIC PROCESSES FORMING THE PROPERTIES OF COMPOSITES: A CASE OF BACK ROOTS

A.M. Danilov, I.A. Garkina

In the appendix to the development of materials with regulated structure and properties, a method is proposed for parametric identification of kinetic processes of their physical-mechanical characteristics formation. The main attention is paid to the determination of the parameters of mathematical model of kinetic processes for the case of multiple roots of characteristic polynomial.

Keywords: composites, formation of properties, kinetic processes, parametric identification, root methods, multiple roots

Оптимизация структуры и свойств композиционных материалов связана с задачей идентификации кинетических процессов. Наиболее распространенными являются методы идентификации процессов по данным нормального функционирования (по синхронным измерениям фазовых координат в процессе нормальной эксплуатации [1, 2]). Это связано с возможностью получения экспериментальных зависимостей изменения свойств от времени.

Естественно, следует учитывать некорректность постановки задачи при приближенном решении обратной задачи. Для преодоления некорректности можно использовать либо корректную постановку задачи с привлечением дополнительной информации об искомом решении, либо воспользоваться классическими алгоритмами решения

некорректно поставленной задачи. Известно, что основные кинетические процессы (*набор прочности, изменение модуля упругости, контракция и усадка, нарастание внутренних напряжений, тепловыделение, химическая стойкость, водопоглощение и водостойкость*) можно описать в классе обыкновенных дифференциальных уравнений (в преобладающем большинстве случаев не выше четвертого порядка) с действительными корнями характеристического полинома [3...5].

В [6] предложен *аналитический метод синтеза композитов*, основанный на ретроспективной параметрической идентификации кинетических процессов с различными корнями характеристического полинома. Однако в ряде случаев корни могут оказаться равными. Поэтому ниже рассматривается случай кратных корней. Здесь общее решение уравнения

$$\ddot{z} + 2n\dot{z} + \omega_0^2 z = 0 \quad (n > 0),$$

описывающего формирование выделенного свойства композита, в отклонениях от равновесного состояния $x = x_m$ имеет вид

$$z = (c_1 + c_2 t) e^{-nt}, \quad \lambda_1 = \lambda_2 = n = \omega_0.$$

Решение задачи Коши при $z(0) = -x_m$, $\dot{z}(0) = 0$ дает

$$z = (x_m - n x_m t) e^{-nt} \quad (c_1 = -x_m, \quad c_2 = n c_1).$$

Отсюда

$$x = x_m - (x_m + n x_m t) e^{-nt}, \quad x = x_m [1 - (1 + nt) e^{-nt}].$$

В частности, при $x_m = 1$ имеем

$$x = 1 - (1 + nt) \cdot e^{-nt},$$

и $\ddot{x} = 0$ при $nt = 1$. Отсюда абсцисса точки перегиба $t_n = \frac{1}{n}$ (t_n не зависит от x_m), а

$$x(t_n) = x\left(\frac{1}{n}\right) = x_m \left[1 - \left(1 + n \frac{1}{n}\right) \cdot e^{-n \frac{1}{n}} \right] = x_m \left(1 - \frac{2}{e}\right)$$

не зависит от n .

Таким образом, точка перегиба процесса $x(t)$ есть точка $M_n \left(\frac{1}{n}; \left(1 - \frac{2}{e}\right) \cdot x_m \right)$.

Увеличение n (здесь $\omega_0 = n$) ведет к сдвигу точки M_n влево (уменьшению $t_n = \frac{1}{n}$). Расположение M_n при $n > 1$ и $n < 1$ показано соответственно на рис. 1, а, б.

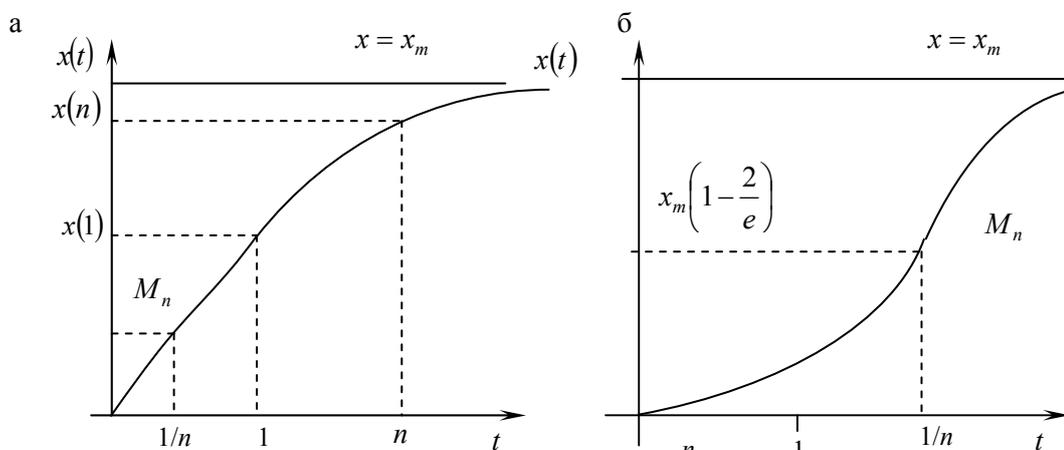


Рис. 1. Расположение точки перегиба в случае кратных корней:
а – $n > 1$; б – $n < 1$

Справедливо:

$$x(1) = x_m \left(1 - \frac{1+n}{e^n} \right); \quad x(n) = x_m \left(1 - \frac{1+n^2}{e^{n^2}} \right).$$

Из приведенного выше вытекает алгоритм *определения абсциссы точки перегиба в случае кратных корней*, а именно: абсцисса точки M_n равна абсциссе точки пересечения кривой $x = x(t)$ с прямой $x = x_m \left(1 - \frac{2}{e} \right)$.

Невыполнение условия $x\left(\frac{1}{n}\right) = x_m \left(1 - \frac{2}{e} \right) \forall n$ означает: $\lambda_1 \neq \lambda_2$.

Из

$$\frac{\partial x}{\partial n} = x_m \left(-t e^{-nt} + t(1+nt)e^{-nt} \right) = x_m n t^2 e^{-nt} > 0 \quad \forall t$$

следует, что $x(t)$ возрастает с ростом $n \forall t$ (рис. 2).

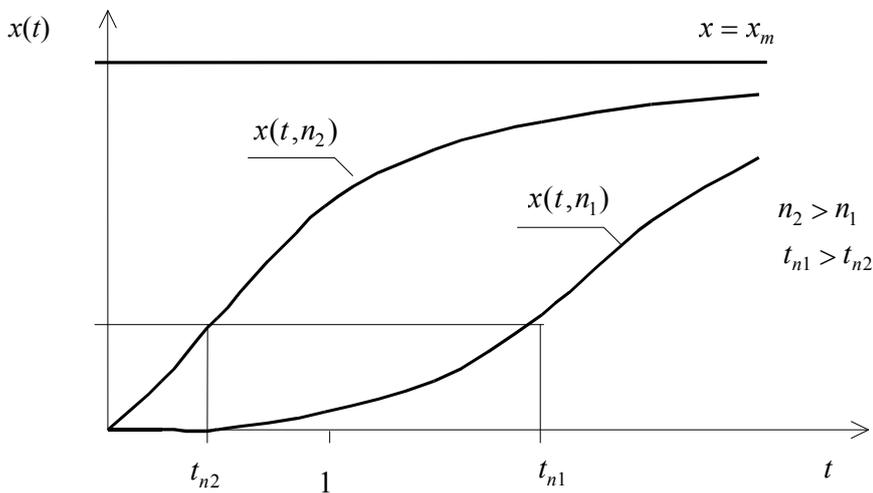


Рис. 2. Вид кинетических процессов в случае кратных корней при различных n

Время τ_0 , в течение которого контролируемый параметр примет значение, равное $0,95 \cdot x_m$ (приближенное *время выхода контролируемого параметра на эксплуатационное значение*), определяется из условия

$$x(\tau_0) = 0,95 \cdot x(\infty) = 0,95 x_m$$

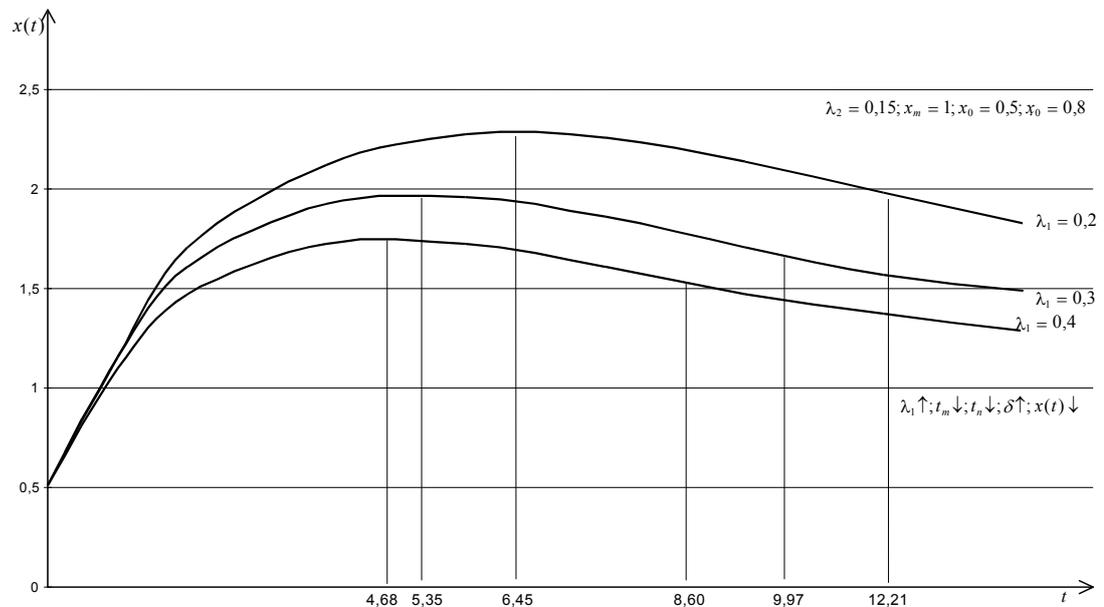
или

$$1 + n \tau_0 = 20 e^{-n \tau_0}$$

($t_n \approx 5,88$ при $n = 0,17$; $\tau_0 = 11,3$).

Решение задачи идентификации кинетических процессов позволяет установить требуемые параметры модели, соответствующей строительному материалу. Для иллюстрации на рис. 3 показаны изменения характеристик эпоксидных композитов в зависимости от параметров динамической модели.

а



б

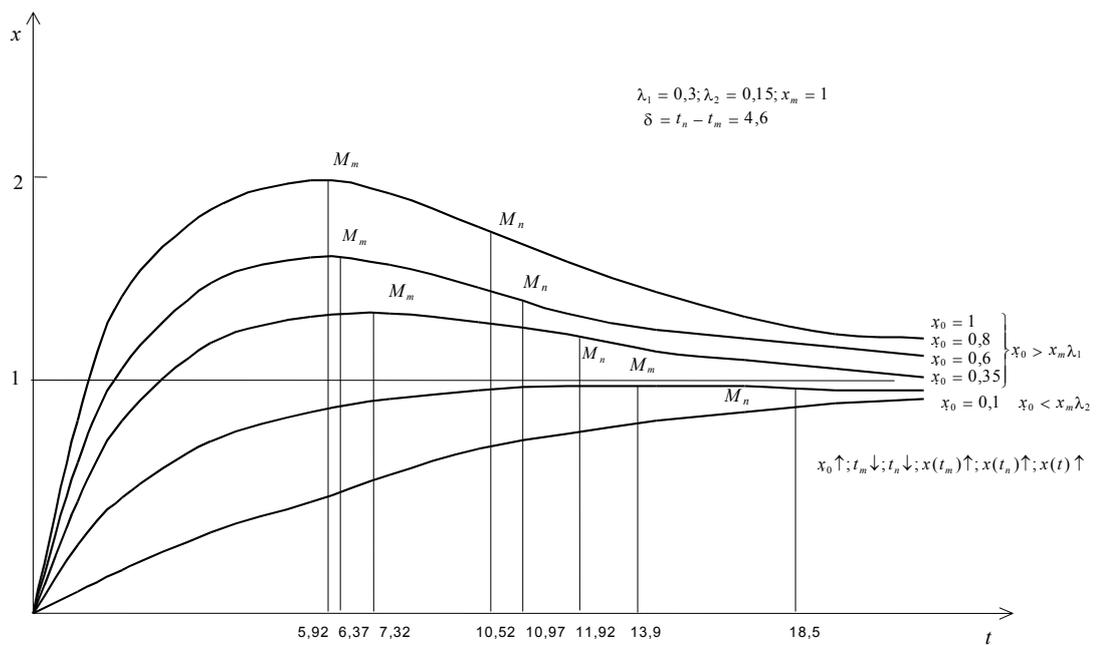


Рис. 3. Вид $x(t)$:

а – саморазогрев; б – внутренние напряжения

Адекватность модели выделенного кинетического процесса легко проверяется на основе сравнения решений соответствующих задач Коши с реальными процессами. Структура и свойства материала могут оцениваться, вообще говоря, различными совокупностями параметров модели: координаты характерных точек кинетических процессов, упругие и демпфирующие характеристики материала и т.д. Однако при прогнозировании качества материала всегда предполагается знание связи между свойствами материала и соответствующими параметрами модели.

Приведенный подход прошел положительную апробацию при разработке ряда композиционных материалов со специальными свойствами.

Список литературы

1. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials / I.A. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8. – № 10. – P. 421–425.
2. Garkina, I.A. Building materials: the modelling, quality functional / I.A. Garkina // *J. Ponte*. – Mar. 2017. – Vol. 73. – Issue 3. – P.111–116.
3. Garkina, I.A. Modeling of Building Materials as Complex Systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.P. Skachkov // *Key Engineering Materials*. – 2017. – Vol. 730. – P. 412–417.
4. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *Journal of Basic and Applied Research International*. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
5. Garkina, I.A. Parametric identification and optimization of properties of building materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *J. Ponte*. – Feb. 2017. – Vol. 73. – Issue 2. – P.119–125.
6. Данилов, А.М. Композиты: графоаналитический метод параметрической идентификации кинетических процессов / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // *Региональная архитектура и строительство*. – 2017. – №2. – С.45–52.
7. 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.

References

1. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials / I.A. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8. – № 10. – P. 421–425.
2. Garkina, I.A. Building materials: the modelling, quality functional / I.A. Garkina // *J. Ponte*. – Mar. 2017. – Vol. 73. – Issue 3. – P.111–116.
3. Garkina, I.A. Modeling of Building Materials as Complex Systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.P. Skachkov // *Key Engineering Materials*. – 2017. – Vol. 730. – P. 412–417.
4. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *Journal of Basic and Applied Research International*. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
5. Garkina, I.A. Parametric identification and optimization of properties of building materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *J. Ponte*. – Feb. 2017. – Vol. 73. – Issue 2. – P.119–125.
6. Danilov, A.M. Composites: graph-analytical method of parametric identification of kinetic processes / A.M. Danilov, I.A. Garkina // *Regional architecture and construction*. – 2017. – №2. – P. 45–52.
7. 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.

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

Кислицына Светлана Николаевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: kislitsyna_sn@mail.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

Kislitsyna Svetlana Nikolaevna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the Department «Technology Building
materials and woodworking»
E-mail: kislitsyna_sn@mail.ru

Mazhitov Erkibulan Bisengalievich,
Graduate student
E-mail: mazhitiv201090@gmail.com

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ЗОЛЬ-СИЛИКАТНОЙ КРАСКИ

В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Е.Б. Мажитов

Приведены сведения о свойствах жидкого стекла с применением добавок кремнезоля. Показано, что введение добавок кремнезоля в раствор жидкого стекла приводит к повышению силикатного модуля. Разработаны рецептуры силикатных красок с применением золь-силикатного связующего.

Ключевые слова: жидкое стекло, покрытия, золь кремниевой кислоты, силикатный модуль

DEVELOPMENT OF FORMULATION ZOLSILICATE PAINT

V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, E.B. Mazhitov

Information on the properties of liquid glass with the use of silica additives is given. It is shown that the addition of silica additives to a solution of liquid glass leads to an increase of silicate module. Formulations of silicate paints with the use of a zolsilicate binder have been developed.

Keywords: liquid glass, coatings, silicic acid sol, silicate module

В практике отделочных работ хорошо зарекомендовали себя силикатные краски, представляющие собой суспензию щелочестойких минеральных пигментов, наполнителей и модифицирующих добавок в водном растворе высокомолекулярного силиката калия или натрия [1, 2].

Учитывая, что натриевое жидкое стекло выпускается промышленностью с модулем $M=2,4-2,9$, не обеспечивающим водостойкость покрытий, актуальным является разработка рецептуры силикатных красок с применением низкомолекулярного натриевого жидкого стекла, покрытия на основе которых обладают достаточными эксплуатационными свойствами.

Нами предложено с целью повышения модуля жидкого стекла введение в рецептуру золя кремниевой кислоты. В работе применяли золи кремниевой кислоты Nanosil 20 и Nanosil 30, выпускаемые ПК «Промстеклоцентр». Характеристики кремнезоля приведены в табл. 1. Жидкое стекло применяли с модулем $M=2,78$.

Характеристики кремнезоля

Наименование показателей	Nanosil 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

В процессе проведения эксперимента определяли модуль жидкого стекла, вязкость связующего. Изучали влияние плотности жидкого стекла, температуры введения кремнезоля на процесс гелеобразования. Жидкое стекло разбавляли водой до получения различной плотности. Кремнезоль вводили в соотношении 1:0,1; 1:0,15; 1:0,2; 1:0,3 при непрерывном перемешивании при температуре 80°C в течение 1 ч [3–8].

Выявлено, что добавление кремнезоля жидкому стеклу плотностью 1,46 г/см³ вызывает течением времени гелеобразование (табл. 2). Так, при добавлении золя в количестве 5 % от массы жидкого стекла рост вязкости жидкого стекла наблюдался спустя 5 суток, а при добавлении 3 % – спустя 7 суток хранения.

Т а б л и ц а 2

Изменение вязкости жидкого стекла плотностью 1,46 г/см³
в зависимости от содержания золя кремниевой кислоты Nanosil 20

Содержание золя	Вязкость жидкого стекла, с				
	После приготовления	через 1 сут хранения	через 3 сут хранения	через 5 сут хранения	через 7 сут хранения
0	23,35	23	23	23	35
1 %	20,28	21,7	23,41	25	40
3 %	19	20	20	22	гелеобразование
5 %	16	17	17,5	гелеобразование	-
7 %	14	15,5	18,8	гелеобразование	-

При введении золя в жидкое стекло при нагревании раствора в течение 1 часа при температуре 80°C раствор становится прозрачным с невысокой вязкостью, составляющей 7,2–7,7 сек, pH раствора жидкого стекла – более 10. Внешний вид раствора жидкого стекла представляет собой прозрачную жидкость, за исключением состава №8. При введении аэросила в жидкое стекло наблюдается гелеобразование.

Т а б л и ц а 3

Влияние добавки золя кремниевой кислоты Nanosil 20
на изменение силикатного модуля натриевого жидкого стекла

№ п/п	Плотность жидкого стекла	Наименование показателей	
		Силикатный модуль	Вязкость, с
1	Жидкое стекло с плотностью 1,2 г/см ³	2,78	7,75
2	Жидкое стекло с плотностью 1,2 г/см ³ + 10 % золя	3,3	7,21
3	Жидкое стекло с плотностью 1,2 г/см ³ +20 % золя	4,6	7,55
4	Жидкое стекло с плотностью 1,2 г/см ³ +30 % золя	5,29	7,70
5	Жидкое стекло с плотностью 1,3 г/см ³ +10 % золя	3,86	7,5
6	Жидкое стекло с плотностью 1,3 г/см ³ +15 % золя	4,25	7,5
7	Жидкое стекло с плотностью 1,3 г/см ³ +30 % золя	4,8	7,4
8	Жидкое стекло с плотностью 1,46 г/см ³ +5 % аэросила	3,13	-

Использование золя в количестве 15–30 % от массы жидкого стекла с модулем $M=2,78$ позволяет получить полисиликатные растворы с модулем $M=4,25-5,29$.

Нами были разработаны однокомпонентные окрасочные составы на основе золь-силикатного связующего с введением наполнителей и пигментов. В качестве наполнителя предложено применять смесь маршалита, талька и микрокальцита. Была рассчитана критическая объемная концентрация пигмента, составляющая в зависимости от вида применяемого наполнителя 60,6–66,4 %. Вязкость красочных составов составляет 17–20 с по ВЗ-4, степень высыхания до степени 5 – 70–90 мин, адгезия к растворной подложке – 1 балл, смываемость – не более 2 г/м². Краска образует покрытие, характеризующееся ровной однородной матовой поверхностью. Стойкость к статическому действию воды при температуре 20°C составляет не менее 24 час.

Список литературы

1. Корнеев, В.И. Производство и применение растворимого стекла / В.И. Корнеев, В.В. Данилов. – Л.: Стройиздат, 1991. – 176 с.
2. Айлер, Р. Химия кремнезема: в 2 т. / Р. Айлер. – М.: Мир, 1982.
3. Получение и применение гидрозолей кремнезема / под ред. проф. Ю.Г. Фролова // Труды МХТИим. Менделеева. – 1979. – С. 37.
4. Фиговский, О.Л. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах / О.Л. Фиговский, Д.А. Бейлин, А.Н. Пономарев // Нанотехнологии в строительстве. – 2012. – No3. – С. 6–21.
5. 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. – DOI: 10.4334/IJCSM.2009.3.2.097.
6. Figovskiy, O.L. Nanostructured Silicate Polymer Concrete / O.L. Figovskiy, D.A. Beylin // Vestnik MGSU. – 2014. – N 3. – P. 197–204.
7. Kudryavtsev, P.G. Alkoxides of chemical elements – promising class of chemical compounds wich areraw materials for Hi-Tech industries / P.G. Kudryavtsev // Journal «Scientific Israel – Technological Advantages». – 2014. – Vol.16, N2. – P.147–170.
8. Figovsky, O. Nanostructured Binder for Acid-Resisting Building Materials / O. Figovsky, Yu. Borisov, D. Beilin //J. Scientific Israel-Technological Advantages. – 2012. – Vol. 14, No 1. – P. 7–12.

References

1. Korneev, V.I. Production and use of soluble glass / V. I. Korneev, V.V. Danilov. – L.: Stroiizdat, 1991. – 176 p.
2. Eiler, R. Chemistry of silica: 2 vol. / R. Eiler. – M.: Mir, 1982.
3. Preparation and use of silica hydrosols / Ed. Prof. Yu.G. Frolova // Proceedings of the Moscow Art Theater. Mendeleyev. – 1979. – P. 37.
4. Figovsky, O.L. Success of nanotechnology application / O.L. Figovsky, D.A. Beilin, A.N. Ponomarev //Building materials, Nanotechnology in construction. – 2012. – No3. – P. 6–21.
5. 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. – DOI: 10.4334/IJCSM.2009.3.2.097.
6. Figovskiy, O.L. Nanostructured Silicate Polymer Concrete / O.L. Figovskiy, D.A. Beylin // Vestnik MGSU. – 2014. – N 3. – P. 197–204.
7. Kudryavtsev, P.G. Alkoxides of chemical elements – promising class of chemical compounds wich are raw materials for Hi-Tech industries / P.G. Kudryavtsev // Journal «Scientific Israel – Technological Advantages». – 2014. – Vol.16, N2. – P.147–170.
8. Figovsky, O. Nanostructured Binder for Acid-Resisting Building Materials / O. Figovsky, Yu. Borisov, D. Beilin //J. Scientific Israel-Technological Advantages. – 2012. – Vol. 14, No 1. – P. 7–12.

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

ФУНДАМЕНТАЛИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПОЗИТОВ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Определяются этапы фундаментализации эмпирических научных знаний при проектировании композитов. Предполагается широкое использование методов математического моделирования, определения совокупности частных критериев, минимизации размерности критериального пространства; автономных исследований сепаратных подсистем. Указываются примеры реализации.

Ключевые слова: композиты, проектирование, эмпирические знания, аналитическое описание, системное моделирование

FUNDAMENTALIZATION OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE IN COMPOSITES DESIGNING

A.M. Danilov, I.A. Garkina

The stages of fundamentalization of empirical scientific knowledge in the design of composites are determined. It is assumed that the methods of mathematical modeling will be used widely, the set of particular criteria will be determined, and the dimension of criterial space will be minimized there'll be; autonomous research of separate subsystems. Examples of implementation are indicated.

Keywords: composites, design, empirical knowledge, analytical description, system modeling

Интеграция научных знаний в проектировании композитов требует разработки современных подходов к проектированию их как сложных систем [1, 2]. Возрастает роль знаний человека в области смежных со специальностью наук и умений комплексно применять их при решении научных и производственных задач (формирование научного мировоззрения и современной научной картины мира, общепредметные умения в профессиональной деятельности). Фундаментализация знаний позволяет использовать системный подход к познанию действительности с учетом самоорганизации и саморазвития систем; формировать целостную картину мира.

Так, композиционный материал (система) можно разделить на *неделимые элементы* последовательным расчленением на *подсистемы* (более крупные, чем элементы, но более мелкие, чем система в целом). Возможность такого деления требует указания элементов, способных выполнять относительно независимые функции, направленные

на достижение общей *цели системы*. Для подсистемы, в свою очередь, должна быть сформулирована *подцель*, являющаяся ее *системообразующим фактором* (цели подсистем не должны противоречить общей цели системы). Поведение системы определяется *структурой системы* (внутреннее строение – элементы, связи и их атрибуты). К фундаментальным свойствам сложных систем относятся *свойства*:

- *существования* (предшествует всем остальным свойствам; не обладая свойством существования, система не может иметь никаких других свойств);
- *развития* (системы *не являются неподвижными* формированиями и не могут существовать в застывшем виде);
- *познаваемости* (возможность теоретических и экспериментальных исследований, описания, моделирования сложных систем; вскрытие их внутренней сущности);
- *слабой предсказуемости* (никакое сколь угодно *подробное* знание морфологии и функций элементов (подсистем) не позволяет определить функции системы, никакое сколь угодно *подробное* знание поведения системы не позволяет *точно* предсказать ее поведение).

В естественных условиях изучение систем ограничивается их сложностью (иногда бывает невозможным ввиду того, что нельзя провести натурный или иной эксперимент). В этих условиях порой единственным возможным методом исследования является моделирование (физическое, логическое, математическое). Без модели нет познания. Любая гипотеза – это модель. Правильность гипотезы о будущем состоянии объекта зависит от того, насколько правильно определили параметры исследуемого объекта, взаимосвязи между собой и внешней средой. Научное описание никогда не охватывает всех деталей, оно всегда выделяет существенные элементы структур и связей. Не случайно К. Гельвеций отмечал: «Знание некоторых принципов легко возмещает незнание некоторых фактов». Поэтому описание содержит обобщенную модель явлений.

Фундаментализация научных знаний связана с методами общей теории систем, состоящей из комплекса математических и инженерных дисциплин (начиная с кибернетики и кончая инженерной психологией). Описание многих процессов, наблюдающихся в системах, внешне не имеющих ничего общего друг с другом, возможно на основе методов синергетики с использованием одних и тех же математических моделей (число которых относительно невелико). Исходная концептуальная схема, модель постановки проблем и их решения определяется исходя из совокупности современных ценностей, методов, подходов, технических навыков и средств, принятых в научном сообществе в рамках устоявшейся научной традиции (парадигма). Модель можно рассматривать как некий объект-заместитель, воспроизводящий интересующие свойства и характеристики оригинала, с существенными преимуществами и удобствами перед ним.

Фактически приходим к *общей схеме проектирования* системы, которая включает:

- структурный синтез на каждом этапе (уже начальный вариант структуры объекта проектирования оценивается с точки зрения удовлетворения требованиям технического задания);
- составление математической модели;
- анализ математической модели;
- оптимизацию параметров математической модели;
- статистический анализ.

На каждом этапе исходными данными являются требуемые параметры объекта проектирования. Если значения выходных параметров не удовлетворяют требованиям технического задания, то осуществляется параметрическая оптимизация, изменение структуры объекта проектирования или корректировка ТЗ (требуется согласие заказчика). При достижении требований к выходным параметрам проводится статистический анализ результатов реализации системы.

Для иллюстрации приведем *приложения указанного подхода к проектированию* материалов специального назначения. При выборе рецептуры, технологии и способов управления качеством использовались различные способы оптимизации параметров

системы, в том числе *векторная* оптимизация. Неопределенность целей преодолевалась с использованием линейной свертки, введением некоторых контрольных показателей, построением множеств Парето и т.д. *Обобщенная модель, параметрическая идентификация* наиболее распространенных видов *кинетических процессов* $x(t)$ (набор прочности, изменение модуля упругости материала; кинетика контракции и усадки; нарастание внутренних напряжений; тепловыделение; кинетика изменения водопоглощения, водостойкости и химической стойкости) сводилась к *решению задачи Коши*:

$$\ddot{z} + 2n\dot{z} + \omega_0^2 z = 0, z = x - x_m, \quad x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = \dot{x}_0; n^2 - \omega_0^2 \geq 0,$$

где x_0, \dot{x}_0, x_m определялись видом исследуемого кинетического процесса; в ряде случаев использовались и модели более высокого порядка (в основном, до четвертого).

При системном проектировании композиционный материал (сложная система) представлялся конечным множеством моделей, отражающих определенную грань его сущности. Каждое свойство или группа свойств системы исследовалась с помощью одной или нескольких узкоориентированных моделей. При необходимости производилось наращивание множества упрощенных моделей. Так, при разработке ряда композиционных материалов последовательно использовались модели, описывающие отдельные свойства (подвижность смеси, прочность, пористость, процесс радиационного разогрева, долговечность и др.). При расширении множества критериев качества для оценки композитов, естественно, добавлялись и другие частные узкоориентированные модели.

При оценке качества материала (с одновременным определением совокупности независимых частных критериев) получен положительный опыт снижения размерности задач на основе метода главных компонент (К. Пирсон; состоит в отыскании многомерного *эллипсоида рассеяния* эмпирических данных в факторном пространстве; определяется расположением и длинами полуосей (*главными направлениями* и стандартными отклонениями в пространстве главных направлений)). В отличие от метода наименьших квадратов *в методе главных компонент предположение о нормальном распределении эмпирической информации не используется* (применим для произвольных данных). Понижение размерности (разделение исходных данных на содержательную часть и шумы) в рамках метода главных компонент достигается *отбрасыванием направлений, соответствующих малым собственным значениям*. Общих правил выбора числа значимых главных компонент не существует (определяется величинами собственных значений матрицы ковариаций, задачами исследования (визуализация на плоскости или в пространстве), интуицией исследователя и т.п.).

К настоящему времени уже накоплен значительный опыт конструирования сложных систем и по *методу ПАТТЕРН* ([3]; Planning Assistance Through Technical Relevance Number, англ. – помощь планированию посредством относительных показателей технической оценки). Здесь предусматривается выделение в сложной противоречивой системе функциональных подсистем на основе четкой формулировки целей по уровням (количество целей не ограничивается, но предполагается их детализация с указанием взаимосвязей). Используется принцип деления сложной проблемы на более мелкие по результатам количественной экспертной оценки каждой из подпроблем, исходя из различных критериев. Метод, в основном, использовался 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. При решении всех поставленных задач синтеза материалов системный подход позволил уменьшить (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.

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.

Сложные иерархические структуры в соответствии с методикой ПАТТЕРН рассматривались и как набор типологизированных элементов и связей между ними (многоуровневое представление структур). Переход с одного уровня на другой осуществлялся путем выделения на основе когнитивного моделирования определенных подструктур, которые, в свою очередь, рассматривались в качестве *макроскопических* элементов, связанных между собой более простым и понятным образом; элементы более низкого уровня рассматривались как *микроскопические*. Система при ее проектировании конфигурировалась с использованием *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. В общем случае *паттерн-проектирование* есть формализованное описание часто встречающейся задачи проектирования. Важнейшим на начальном этапе при работе с паттернами является адекватное моделирование рассматриваемой предметной области.

Таким образом, фундаментализация проектирования сводится к определению сложной модели, отражающей интересующие свойства *будущей реальной системы* (композиционного материала). *Выбор некоторого проектного решения* из возможных альтернативных вариантов (*средство достижения целей проектирования*) осуществляется на основе некоторого показателя (критерия выбора), *обобщенно* характеризующего степень достижения поставленной цели тем или иным вариантом проекта. Система рассматривается как совокупность взаимосвязанных управляемых подсистем, *объединенных общей целью* функционирования для решения заданной проблемы в некотором *диапазоне условий*. При выборе рационального варианта и оптимизации его параметров *желательно использовать* показатель «эффективность-стоимость» (при решении отдельных задач, в том числе обороны страны, он не учитывается). При проектировании системы с длительным периодом эксплуатации следует учитывать не только сегодняшнее состояние среды, но и прогнозируемые изменения (на систему влияют любые *изменения внешней среды*; верно и обратное). Отсутствие абсолютной уверенности в прогнозировании проектируемой системы приводит к необходимости предусмотреть и возможность ее различных *модификаций*.

Эффективность рассмотренного подхода подтвердилась при фундаментализации эмпирических данных при синтезе ряда композиционных материалов специального назначения [4...8].

Литература

1. Данилов, А.М. Системное проектирование композитов / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 3 (28). – С. 45–49.
2. Данилов, А.М. Сложные системы: идентификация, синтез, управление / А.М. Данилов, И.А. Гарькина. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 308 с.
3. Скачков, Ю.П. Модификация метода ПАТТЕРН к решению архитектурно-строительных задач / Ю.П. Скачков, А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 1. – С. 4–9.
4. Данилов, А.М. Методология проектирования сложных систем при разработке материалов специального назначения / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 1. – С. 80–85.
5. Гарькина, И.А. Управление в сложных технических системах: методологические принципы проектирования / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 1. – С. 39–42.
6. Budylyna, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylyna, A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Т. 8. № 9. – P. 441–445.

7. Garkina, I. Modeling of building materials as complex systems / I. Garkina, A. Danilov, Y. Skachkov // «Key» Engineering Materials. – 2017. – Т. 730. – P. 412.
8. Garkina, I.A. Materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Т. 11, № 11. – P. 2461–2464.

References

1. Danilov, A.M. System design of components / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and construction. – 2016. – No. 3 (28). – P. 45–49.
2. Danilov, A.M. Complex systems: identification, synthesis, management / A.M. Danilov, I.A. Garkina. – Penza: PGUAS, 2011. – 308 p.
3. Skachkov, Yu.P. Modification of the PATTERN method for solving architectural and construction problems / Yu.P. Skachkov, A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and engineering. – 2011. – N. 1. – P. 4–9.
4. Danilov, A.M. Methodology for designing complex systems for the development of special-purpose materials / A.M., Danilov I.A. Garkina // News of higher educational institutions. Building. – 2011. – № 1. – P. 80–85.
5. Garkina, I.A. Management in complex technical systems: methodological principles of design / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. – 2012. – № 1. – P. 39–42.
6. Budylnina, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylnina, A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Т. 8. № 9. – P. 441–445.
7. Garkina, I. Modeling of building materials as complex systems / I. Garkina, A. Danilov, Y. Skachkov // «Key» Engineering Materials. – 2017. – Т. 730. – P. 412.
8. Garkina, I.A. Materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Т. 11, № 11. – P. 2461–2464.

УДК 691.175.2

*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**Авдонин Валерий Викторович,**
кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры
«Прикладная механика»
E-mail: avdoninvalerii@bk.ru**Пильшиков Владислав Олегович,**
аспирант кафедры «Прикладная механика»
E-mail: Vlad-Pil-2020@mail.ru**Аникина Надежда Сергеевна,**
студентка
E-mail: aniknadya@yandex.ru*Вятский государственный университет*
Россия, 610033, Студенческий проезд, 9
тел. +78332742565, +79097170600**Юркин Юрий Викторович,**
кандидат технических наук, зав. кафедрой
«Строительные конструкции и машины»
E-mail: yurkin@vyatsu.ru*Mordovian State University
named after N.P. Ogarev*
Russia, 430000, Saransk, 24,
Sovetskaya St.,
tel.: (8342) 47-71-56**Cherkasov Vasilii Dmitrievich,**
Doctor of Sciences, Professor, Head of
department «Applied mechanics»
E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru**Avdonin Valeriy Viktorovich,**
Candidat of Sciences, Senior Tutor of the
department «Applied mechanics»
E-mail: avdoninvalerii@bk.ru**Pil'shchikov Vladislav Olegovich,**
Postgraduate student of the department
«Applied mechanics»
E-mail: Vlad-Pil-2020@mail.ru**Anikina Nadezhda Sergeevna,**
Student
E-mail: aniknadya@yandex.ru*Vyatka State University*
Russia, 610033, Kirov, 9,
Studencheskiy proezd
tel. +78332742565, +79097170600**Yurkin Yuriy Viktorovich,**
Candidat of Sciences, Head of the department
«Building structures and machines»
E-mail: yurkin@vyatsu.ru

ПОЛИМЕРНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

В.Д. Черкасов, Ю.В. Юркин, В.В. Авдонин, В.О. Пильшиков, Н.С. Аникина

Рассмотрены полимерные композиции для создания материалов с высокими вибропоглощающими свойствами. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлены рекомендации по их использованию.

Проведен анализ строения каучуков по химическим формулам и выявлено влияние структуры полимера на демпфирующие свойства. Проанализированы вязкоупругие свойства (динамический модуль упругости и коэффициент потерь) эпоксидных, полиэфирных смол и олигоэфиракрилатов в различных температурных интервалах. Исследовано изменение диссипативных свойств синтетических каучуков (бутилкаучук БК-1675Н, этилен-пропиленовый каучук СКЭПТ-40) в зависимости от температуры.

Ключевые слова: полимерные композиции, вибропоглощающие свойства, эпоксидные смолы, полиэфирные смолы, олигоэфиракрилаты

POLYMERIC BINDERS FOR PRODUCTION VIBRATION ABSORBING MATERIALS

V.D. Cherkasov, Y.V. Yurkin, V.V. Avdonin, V.O. Pilshikov, N.S. Anikina

This article describes polymer compositions to create materials with high vibration absorbing properties. As a result of theoretical and experimental studies recommendations for their use are determined.

The analysis of rubbers structure by chemical formulas was carried out and the influence of the polymer structure on the damping properties was revealed. The viscoelastic properties (dynamic modulus of elasticity and loss factor) of epoxy, polyester resins and oligoether acrylates in different temperature intervals were analyzed. The change in the dissipative properties of synthetic rubbers (butyl rubber BK-1675H, ethylene-propylene rubber SEPT-40) as a function of temperature was investigated.

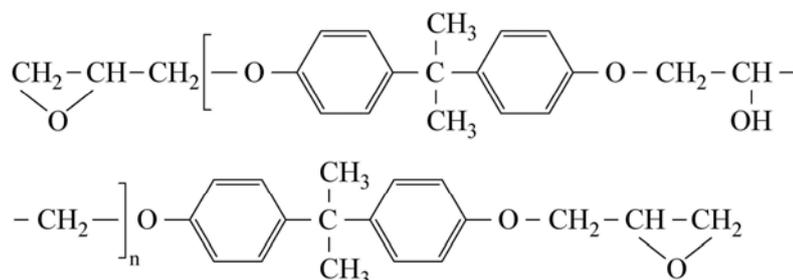
Keywords: polymeric compositions, vibration absorbing properties, epoxy resins, polyester resins, oligoether acrylates

В настоящее время полимерные вибропоглощающие материалы находят всё большее применение в технике в связи с ростом мощности различных энергетических установок, нуждающихся в защите от вибрации. Ослабление вибрации может быть достигнуто путём увеличения потерь энергии вибрации в конструкции при нанесении на неё покрытия из материала с высокими вибропоглощающими свойствами. В связи с этим большое значение приобретают полимеры, на основе которых могут быть созданы вибропоглощающие материалы различных типов: слоистые, мастичные, листовые и др.

Полимерные связующие, представляющиеся перспективными для разработки вибропоглощающих композиционных материалов, должны отличаться рядом особенностей: температура стеклования должна располагаться в заданной температурной области работы материала; они должны иметь широкое молекулярно-весовое распределение, высокое межмолекулярное взаимодействие, хорошую адгезию и прочность.

Наиболее перспективными являются сетчатые полимеры и реакционноспособные олигомеры, дающие сетчатый полимер после отверждения. К таковым относятся следующие реакционноспособные олигомеры: эпоксидные смолы, ненасыщенные полиэфирные смолы, феноло- и аминокформальдегидные смолы, полиуретаны, олигоорганосилоксаны [2].

Самыми распространенными эпоксидными полимерами являются диановые смолы, обладающие широким диапазоном технологических, физико-механических, теплофизических и физико-химических свойств и значительно меньшей токсичностью среди соединений этого класса [5]. Общая формула эпоксидных диановых смол имеет вид:

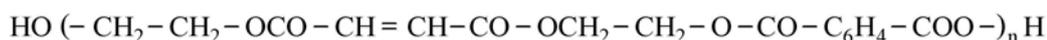


Эпоксидные смолы обладают стойкостью в кислой и щелочной среде, устойчивы к воздействию горюче-смазочных материалов. При повышенных температурах они отверждаются ангидридами кислот: фталевыми, малеиновыми, пиромиллитовыми и другими. При комнатной температуре отверждение чаще всего осуществляют алифатическими аминами [3]. Широко применяемыми первичными алифатическими аминами являются этилендиамин (ЭДА), диэтилентриамин (ДЭТА), триэтилентетрамин (ТЭТА), N (β – аминоэтил) – пиперазин (АЭП), гексаметилендиамин (ГМДА), а

также техническая смесь аминов (полиэтиленполиамины – ПЭПА), состоящая из 25 соединений.

Следующим достаточно распространенным полимерным связующим являются ненасыщенные полиэфирные смолы – полиэфирмалеинаты и полиэфиракрилаты.

Полиэфирмалеинаты получают в результате взаимодействия ненасыщенных дикарбоновых кислот (например, малеиновой) и многоатомных спиртов (например, этиленгликоля). В ходе реакции получают аморфные стекловидные полиэфиры, которые растворяют в растворителе, способном участвовать в процессе полимеризации. С этой целью применяют мономер стирол. Полиэфирмалеинаты имеют примерно следующее строение:

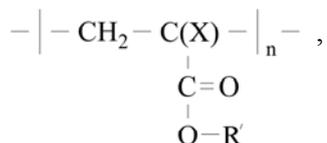


Полиэфиракрилаты получают в результате реакции глицерина, фталевого ангидрида и метакриловой кислоты в среде инертного растворителя при температуре 140 °С и интенсивном перемешивании. Свойства полиэфиракрилатов и полиэфирмалеинатов примерно одинаковы.

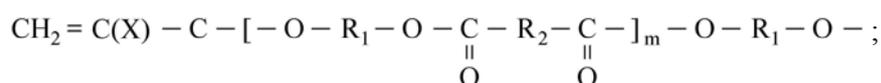
Полиэфирные смолы устойчивы к воздействию воды, солевых растворов, минеральных кислот, растительных и животных масел, жиров, условно стойки против действия разбавленных щелочей и бензола, неустойчивы против концентрированных кислот, сильных щелочей, окислителей и многих растворителей.

Отверждение полиэфирных смол протекает под действием окислительно-восстановительных систем. Реакция инициируется перекисными соединениями. Распад перекисей в смоле, дающий начало радикальной полимеризации, происходит под действием нагрева, ультрафиолетовых лучей, облучения, а при обычной температуре реакция ускоряется добавкой сильных восстановителей: третичных аминов, нафтенатов кобальта и марганца и других веществ [5].

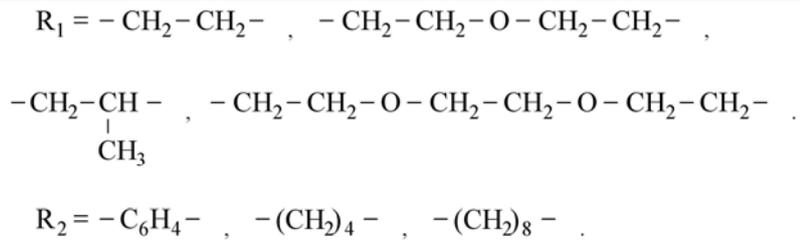
Одним из перспективных направлений в области создания материалов с высокими вибропоглощающими свойствами является разработка полимерных композиций на основе олигоэфиракрилатов – полимеризационноспособных олигомеров, представляющих собой сложные эфиры с гетеро- или карбоцепным олигомерным блоком и концевыми или регулярно чередующимися группами акрилового ряда. Исходными веществами для синтеза олигоэфиракрилатов являются гидроксилсодержащие соединения и дикарбоновые кислоты. Олигоэфиракрилаты способны к гомополимеризации и к сополимеризации друг с другом и другими мономерами и олигомерами. Их отверждение радикальными инициаторами приводит к образованию сетчатых полимеров регулярного строения, расстояние между узлами цепей которых практически определяется молекулярной массой исходных олигомеров. Типичный повторяющийся элемент структуры сетчатых полимеров на основе олигоэфиракрилатов выражается формулой



где R' – полиэфирный остаток общей формулы



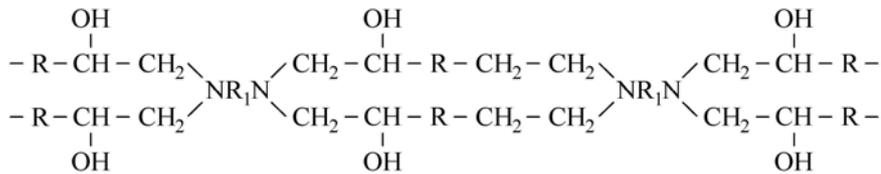
n и m – степени полимеризации основной карбоцепи и олигоэфирного блока; m = 1 ÷ 50; X – H-, CH₃-, HAl-, CN или какая-нибудь другая замещающая группа; R₁ и R₂ – соответственно остатки гликоля и дикарбоновой кислоты, причем



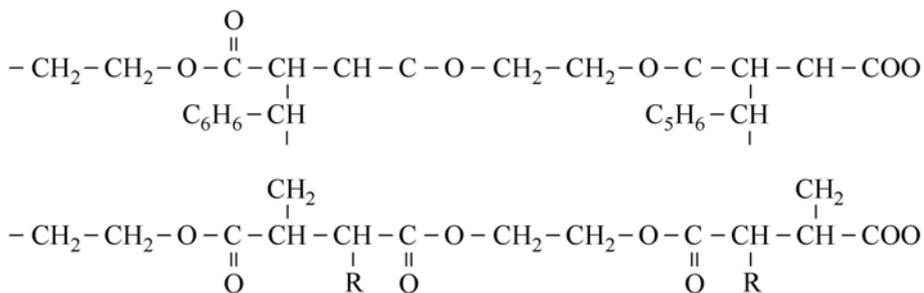
Особенности строения олигоэфиракрилатов придают отвержденным полимерам на их основе комплекс ценных свойств: возможность проведения процессов сшивки при низких температурах, низкую токсичность, высокую технологичность и хорошие физико-механические свойства.

Проявление вибропоглощающих свойств сетчатыми полимерами связано с сегментальной подвижностью, прежде всего с гибкостью межузлового фрагмента, т.е. с изменением межузловых расстояний, с наличием внутреннего вращения. Возможность последнего обуславливается внутримолекулярными формами вращательных движений атомных групп $-\overset{|}{C}-\overset{|}{O}-\overset{|}{C}-$, $-\overset{|}{C}-\overset{||}{O}-\overset{|}{C}-$ около различных осей. По

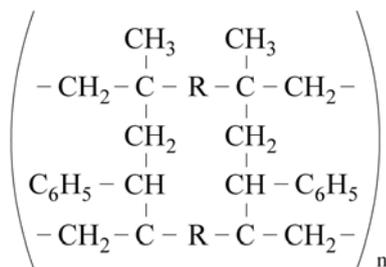
существующей классификации все вращательные движения (степени свободы) атомных групп около оси полимерной цепи обозначаются как β-процессы. Они вызваны вращением группы CH₂ и всей эфирной группы. Вращательные степени свободы, относящиеся к боковым группам, обозначаются как γ-процессы. К ним относится вращение метильной группы CH₃, связанной непосредственно с полимерной цепью. В связи с этим представляется возможной предварительная оценка вибропоглощающих свойств полимерных вяжущих по химическому строению полимерной цепи. С этой целью рассмотрим химическое строение полимерной цепи отвержденных полимерных вяжущих. Отверждение эпоксидных смол полиэтиленполиамином идет с разрывом эпоксидного кольца в результате присоединения аминогрупп к смоле:

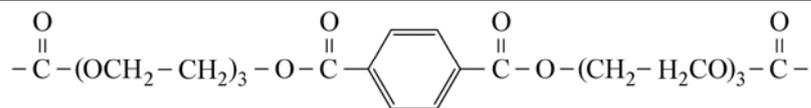


При взаимодействии непределного полиэфира со стиролом образуется полиэфир со следующей пространственной структурой:



Отвержденный олигоэфиракрилат МГФ-9 имеет следующую пространственную структуру:





В полимерной цепи отвержденной эпоксидной смолы рассеяние энергии обуславливается вращением только групп CH_2 . При отверждении эпоксидной смолы алифатическими аминами происходит связывание концов полимерных цепей жесткими связями, что приводит к снижению их подвижности. Поэтому отвержденные эпоксидные смолы хрупкие и будут иметь низкий коэффициент потерь.

Вращение групп CH_2 и эфирных групп вызывает рассеяние энергии в полимерной цепи полиэфирной смолы, в связи с чем она обладает большой сегментальной подвижностью, что обеспечивает достаточно высокое значение коэффициента потерь у этих полимеров.

В отличие от полиэфирной смолы олигоэфиракрилат МГФ-9 будет иметь более высокое значение коэффициента потерь, так как в нем рассеяние энергии обусловлено вращением не только групп CH_2 и эфирных, но и метильных групп CH_3 , примыкающих к полимерной цепи.

На вибропоглощающие свойства сетчатых полимеров оказывают влияние также длина поперечной сшивающей цепочки и ее податливость. Увеличение длины цепочки, т.е. расстояния между линейными полимерными цепями, а также наличие вращательных движений в ней приводит к повышению деформативности полимера, а следовательно, и вибропоглощения. С этой точки зрения опять выгодно выделяются полиэфирная смола и олигоэфиракрилат.

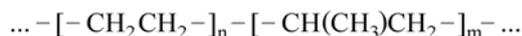
В качестве вяжущего для полимерных вибропоглощающих материалов могут быть перспективны каучуки (бутилкаучук и этилен – пропиленовый каучук).

Химическая формула бутилкаучука схематично может быть выражена следующим образом:



Здесь буквой n обозначено число молей изобутилена, которые связываются с m молями изопрена.

Общая химическая формула этилен-пропиленового каучука:



Анализ строения каучуков по химическим формулам показывает, что бутилкаучук будет обладать более высокими демпфирующими свойствами, чем этилен-пропиленовый каучук, т.к. в цепи бутилкаучука рассеяние энергии будет обеспечено вращением CH_2 групп и боковых групп CH_3 . В этилен-пропиленовом каучуке рассеяние энергии обусловлено только вращением CH_2 групп. Достоинством каучуков является обстоятельство, что они способны рассеивать энергию колебаний в широком диапазоне температур.

Эффективность вибропоглощения в широком диапазоне температур материалами на основе синтетических каучуков объясняется структурой полимера. Как известно, рассеивание внешней нагрузки полимерами обусловлено релаксационными переходами. В отличие от эпоксидных смол, относящихся к группе стеклопластиков, в заданном температурном диапазоне эксплуатации у каучуков таких переходов может быть несколько.

В области температур, ниже температур стеклования полимера T_c релаксационные процессы в каучуке связаны с гибкостью межузлового сегмента и вращением групп CH_2 вокруг оси цепи (β -переходы). С повышением температуры к области температуры стеклования полимера T_c происходит «размораживание» сегментов полимерной цепи, и $T \approx T_c$ в цепи появляется так называемая сегментальная подвижность. В данной области вся цепь полимера активно «изгибается», поглощая наибольшее количество внешней энергии. Такой процесс называется α -переходом.

В области положительных температур у каучуков возможны μ -переходы, возникающие в результате распада физических узлов, образованных боковыми группами CH_3 .

Такое разнообразие возможных механизмов релаксации внешней энергии обуславливает эффективность вибропоглощения композитами на основе каучуков в заданном диапазоне эксплуатационных температур.

К достоинствам каучуков можно отнести следующие обстоятельства: бутилкаучук обладает высокой непроницаемостью для газов и воздуха, температура стеклования минус 69°C ; этилен-пропиленовые каучуки мало набухают в полярных растворителях, но нестойки к действию углеводородных масел и неполярных растворителей, превосходят другие синтетические каучуки по озono-, свето- и атмосферостойкости; обладают длительной теплостойкостью при температурах до 150°C и кратковременной при 200°C ; стойки к воздействию окислительных и агрессивных сред. Недостатки этилен-пропиленовых каучуков – низкая масло- и огнестойкость.

Вибропоглощающие свойства полимеров определяются их вязкоупругими характеристиками, наиболее важными из которых являются коэффициент потерь и динамический модуль упругости. Считается, что высокими демпфирующими свойствами обладают полимеры с большими значениями коэффициента потерь и модуля упругости.

Демпфирующие свойства полимеров при внешнем воздействии в основном обусловлены релаксационными процессами [4]. В связи с этим большое влияние на них будут оказывать температура и частота колебаний. С целью правильного выбора полимерного связующего для разработки вибропоглощающих материалов проанализированы и исследованы вязкоупругие свойства эпоксидных, полиэфирных смол и олигоэфиракрилатов в широком температурном интервале [6].

Для исследования были взяты эпоксидная смола ЭД-20, полиэфирные смолы ПН-1, ПН-2, ПН-609-21М и олигоэфиракрилат МГФ-9. Вязкоупругие свойства (динамический модуль упругости и коэффициент потерь) этих полимеров в зависимости от температуры представлены на рис. 1 и 2. Во всех исследованных полимерах наблюдается общая закономерность изменения модуля упругости и коэффициента потерь от температуры. При температуре 20°C смолы имеют высокий динамический модуль упругости и низкий коэффициент потерь, соответственно равные для эпоксидной смолы ЭД-20 2500 МПа и 0,035; для полиэфирной смолы ПН-1 – 1800 МПа и 0,08; ПН-12 – 2100 МПа и 0,06; ПН-609-21М – 1800 МПа и 0,047 и для олигоэфиракрилата МГФ-9 – 605 МПа и 0,19.

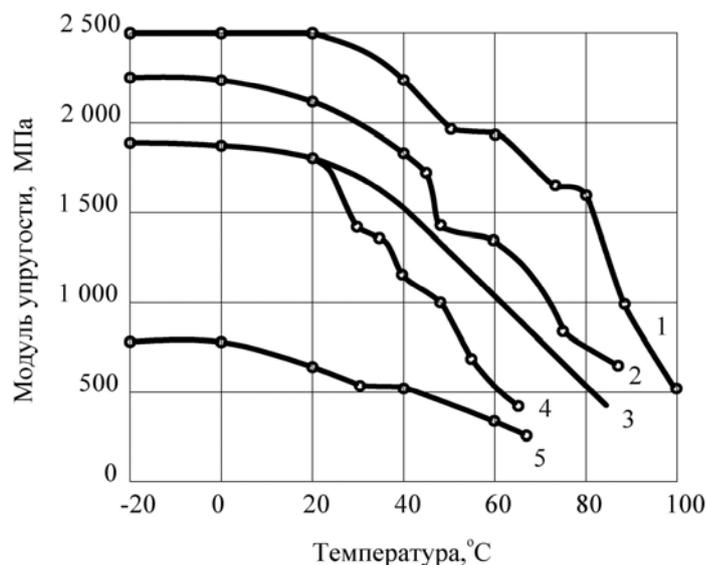


Рис.1. Температурная зависимость модуля упругости полимерных связующих:
1 – ЭД-20; 2 – ПН-12; 3 – ПН-609-21М; 4 – ПН-1; 5 – МГФ-9

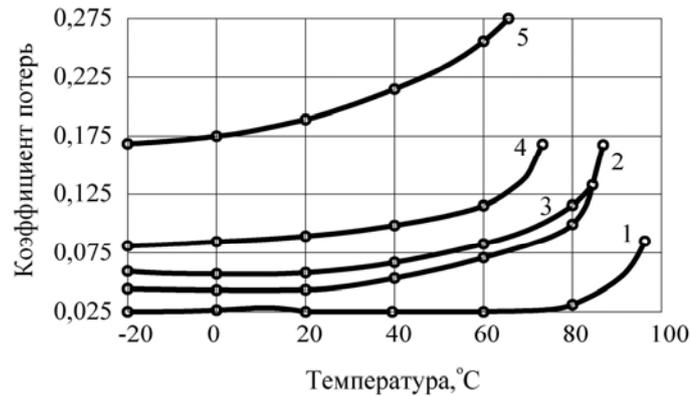


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента потерь полимерных связующих:
1 – ЭД-20; 2 – ПН-12; 3 – ПН-609-21М; 4 – ПН-1; 5 – МГФ-9

С повышением температуры динамический модуль упругости уменьшается, а потери возрастают. При переходе из стеклообразного состояния в высокоэластическое первый показатель резко падает, а второй возрастает и проходит через главный максимум при температуре 95 °С для эпоксидной смолы, 60 °С – для ПН-1, 80 °С – для ПН-12, ПН-609-21М, 50 °С – для МГФ-9. В области максимальных потерь динамический модуль упругости у этих полимеров равен для ЭД-20 700 МПа, ПН-1 – 500 МПа, ПН-12 – 580 МПа, ПН-609-21М – 500 МПа, МГФ-9 – 230 МПа. В исследованных полимерах характер зависимости значений η и E от температуры отличается только положением релаксационных областей. Наиболее резкий переход из стеклообразного состояния в высокоэластическое и при более низкой температуре наблюдается у полиэфирных смол. Они имеют довольно высокое значение коэффициента потерь, но в отличие от эпоксидных у них меньше модуль упругости, особенно в области перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние.

Эпоксидная смола при низком уровне коэффициента потерь выгодно отличается от полиэфирной более широким диапазоном рабочих температур, высоким модулем упругости и лучшей химической стойкостью. В связи с этим ее можно рекомендовать для получения конструкционных вибропоглощающих материалов. Полиэфирные же смолы могут быть использованы при изготовлении как конструкционных, так и неконструкционных материалов, например вибропоглощающих покрытий и др. Олигоэфиракрилаты МГА-9 предпочтительнее использовать в вибропоглощающих покрытиях или в конструкциях с небольшими нагрузками. К достоинствам всех исследованных смол можно отнести широкий диапазон рабочих температур и высокую прочность (см. таблицу).

Физико-механические свойства полимерных вяжущих

Полимерное вяжущее	Прочность на сжатие, МПа	Модуль упругости, МПа	Коэффициент потерь	Модуль потерь, МПа
Эпоксидная смола ЭД-20	80	2500	0,035	87,5
Полиэфирная смола ПН-1	78	1800	0,08	144,0
Полиэфирная смола ПН-12	78	2100	0,06	126,0
Полиэфирная смола ПН-609-21М	78	1800	0,047	84,6
Олигоэфиракрилат МГФ-9	83	650	0,19	123,5

Для исследований диссипативных свойств синтетических каучуков были взяты бутилкаучук БК-1675Н и этилен-пропиленовый каучук СКЭПТ-40, а для сравнения – наиболее распространенное в настоящее время вяжущее – битум (на примере битума

строительного марки БН 90/10). Зависимость вибропоглощающих свойств этих полимеров от температуры представлена на рис. 3. У всех трех образцов наблюдаются общая закономерность – наличие узкого максимума вибропоглощающих свойств.



Рис. 3. Температурная зависимость приведенного коэффициента потерь синтетических каучуков и битума

У рассматриваемых материалов изменение вибропоглощающих свойств с повышением температуры происходит по вышеописанной закономерности. Максимум потерь бутилкаучука приходится на T_c полимера. Максимум потерь бутилкаучука приходится на температуру минус 70 °C, этилен-пропиленового каучука – минус 60 °C, битума – минус 10 °C. Повышение температуры приводит к снижению диссипативных свойств и при переходе через 0 °C характеризуется небольшими и стабильными значениями коэффициента потерь. Выбирая из пары синтетических каучуков, следует остановиться на бутилкаучуке ввиду его большей эффективности в области отрицательных температур.

Список литературы

1. Соломатов, В.И. Вибропоглощающие композиционные материалы / В.И. Соломатов, В.Д. Черкасов, Н.Е. Фомин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 96 с.
2. Букреева, Н.В. Вибропоглощающие композиционные материалы на основе сетчатых полимеров / Н.В. Букреева, Н.И. Дувакина, А.Ф. Николаев. – Л., 1982. – 21 с. – Деп. в ОНИИТЭХИМ 13.10.82, № 1189 кп-Д 82.
3. Ли, Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Х. Ли, К. Невилля. – М.: Энергия, 1973. – 415 с.
4. Пеперечко, И.И. Введение в физику полимеров / И.И. Пеперечко. – М.: Химия, 1978. – 912 с.
5. Соломатов, В.И. Полимерные композиционные материалы в строительстве / В.И. Соломатов, А.Н. Бобрышев, К.Г. Химмлер; под ред. В.И. Соломатова. – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.
6. Черкасов, В.Д. Выбор и исследование полимерных связующих для вибропоглощающих композиционных материалов / В.Д. Черкасов // Современные строительные композиты и их технология. – Саранск, 1994. – С. 141–150.

References

1. Solomatov, V.I. Vibration-absorbing composite materials / V.I. Solomatov, V.D. Cherkasov, N.E. Fomin. – Saransk: Publishing house Mordov. University press, 2001. – 96 p.
2. Bukreeva, N.V. Vibration-absorbing composite materials on the basis of reticulated polymers / N.V. Bukreeva, N.I. Duvakina, A.F. Nikolaev. – L., 1982. – 21 S. – DEP. in ONIITEKHIM 13.10.82, No. 1189 CP-D 82.
3. Lee, H. Handbook of epoxy resins / H. Lee, K. Neville. – M.: Energy, 1973. – 415 p.
4. Peperechko, I.I. Introduction to the physics of polymers / I.I. Peperechko. – M.: Chemistry, 1978. – 912 p.
5. Solomatov, V.I. Polymer composite materials / V.I. Solomatov, A.N. Bobryshev, K.G. Himmler; ed/ V.I. Solomatov. – M.: Stroyizdat, 1988. – 312 p.
6. Cherkasov, V.D. and studies of vibration-absorbing polymeric binder for composite materials / V.D. Cherkasov // Modern building materials and their technology. – Saransk, 1994. – P. 141-150.

УДК 691.175.2

*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

Авдонин Валерий Викторович,
кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры
«Прикладная механика»
E-mail: avdoninvalerii@bk.ru

Пильшиков Владислав Олегович,
аспирант кафедры «Прикладная механика»
E-mail: Vlad-Pil-2020@mail.ru

Аникина Надежда Сергеевна,
студентка
E-mail: aniknadya@yandex.ru

Вятский государственный университет
Россия, 610033, Студенческий проезд, 9,
тел. +78332742565, +79097170600

Юркин Юрий Викторович,
кандидат технических наук, зав. кафедрой
«Строительные конструкции и машины»
E-mail: yurkin@vyatsu.ru

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

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

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

Avdonin Valeriy Viktorovich,
Candidat of Sciences, Senior Tutor of the
department «Applied mechanics»
E-mail: avdoninvalerii@bk.ru

Pil'shchikov Vladislav Olegovich,
Postgraduate student of the department
«Applied mechanics»
E-mail: Vlad-Pil-2020@mail.ru

Anikina Nadezhda Sergeyevna,
Student
E-mail: aniknadya@yandex.ru

Vyatka State University
Russia, 610033, Kirov, 9,
Studencheskiy proezd
tel. +78332742565, +79097170600

Yurkin Yuriy Viktorovich,
Candidat of Sciences, Head of the department
«Building structures and machines»
E-mail: yurkin@vyatsu.ru

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИКАЦИИ НА ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Д. Черкасов, Ю.В. Юркин, В.В. Авдонин, В.О. Пильшиков, Н.С. Аникина

Представлены результаты исследования влияния пластификации на вибропоглощающие свойства полимерных материалов. Показано, что введение пластификатора в состав вяжущего изменяет вибропоглощающие свойства полимеров. Выявлено, при каком количестве пластификатора наблюдается максимальное увеличение модуля потерь у эпоксидных композитов. Проанализировано влияние модификации эпоксидной смолы полиизоцианатом Суризон АТГД – 65. Исследован наиболее эффективный пластификатор для бутилкаучука.

Ключевые слова: олигоэфиракрилат, сополимеризация, полиизоцианат, пенетрация, диэпоксид, вибропоглощение

THE EFFECT OF PLASTICIZATION ON DAMPING CHARACTERISTICS OF POLYMERIC MATERIALS

V.D. Cherkasov, Y.V. Yurkin, V.V. Avdonin, V.O. Pilshikov, N.S. Anikina

The article presents a study of the influence of plasticizing effect on damping characteristics of polymeric materials. It is shown that the introduction of the plasticizer in the composition of the binder changes the damping characteristics of polymers. It has been revealed at what quantity of

softener the maximum increase in the module of losses at epoxy composites is observed. Epoxy modification influence by a polyisocyanate Surizon ATGD – 65 has been analysed. The most effective softener for butyl rubber has been investigated.

Keywords: oligoesteracryls, copolymerization, polyisocyanate, penetration, diepoxide, dipromohexane

Наиболее высокие демпфирующие свойства у полимерных материалов наблюдаются при переходе из стеклообразного в высокоэластическое состояние, т.е. в области температуры стеклования [5]. Температуру стеклования полимеров можно изменять путем пластификации и таким образом перемещать область релаксационных явлений в нужный температурный диапазон [2, 3]. При этом необходимо соблюдать главное требование – температура стеклования не должна опускаться ниже границы рабочего диапазона температуры.

Существует два метода пластификации полимеров путем введения пластифицирующих добавок – молекулярная и структурная пластификация [3]. Первая подразумевает изменение механических свойств полимеров путем введения главным образом низкомолекулярных веществ, совмещающихся с ними на молекулярном уровне [3]. В этом случае благодаря взаимодействию полимера с молекулами пластификатора ослабляются силы взаимодействия макромолекул между собой. Из-за этого появляется возможность взаимной перегруппировки их звеньев под влиянием внешних механических полей и, соответственно, увеличивается податливость системы.

Структурная пластификация полимеров связана с эффектом изменения механических свойств при введении относительно малых количеств низкомолекулярных веществ, практически не совместимых с полимером [3]. При этом пластификатор распределяется между элементами структуры в виде тонких слоев и оказывает эффект «смазки». Распределение пластификатора не является идеальным, поэтому система рассматривается как гетерофазная. В связи с этим пластифицирующие добавки можно разделить на реакционноспособные и нереакционноспособные. Использование последних, как правило, приводит к ухудшению физико-механических свойств и снижению химической стойкости материала.

При условии, что пластификация преследует цель снижения температуры стеклования, пластификатор должен обладать хорошей совместимостью с полимером и по возможности более низкой собственной температурой стеклования [3]. Поэтому модификацию полимеров предпочтительнее осуществлять реакционноспособными пластификаторами.

Реакционноспособными пластификаторами для эпоксидной смолы являются полиэфирные смолы, галоидированные полиолефины, поливинилкетали, кремнийорганические и фурановые смолы, каучуки. Наиболее широко применяемые из них – полиэфирные смолы и олигоэфиракрилаты, доступными модификаторами являются и каучуки. Все они обладают низкой температурой стеклования.

Эффективность действия пластификатора принято оценивать условным показателем – смещением температуры стеклования [3]. При относительно небольшом его количестве в полимере снижение температуры стеклования можно описать следующим выражением (рис. 1, 2):

$$\Delta T_c = km_1, \quad (1)$$

где m_1 – массовая доля пластификатора.

Наиболее резкое снижение температуры стеклования эпоксидного полимера происходит при добавлении в него поливинилацетата (см. рис. 1, 2).

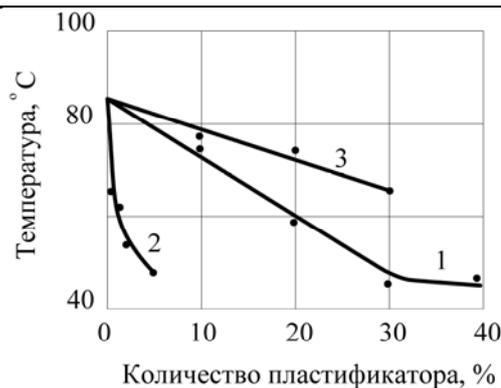


Рис. 1. Влияние пластификатора на температуру стеклования эпоксидной смолы:
1 – МГФ-9; 2 – ПВА; 3 – каучук

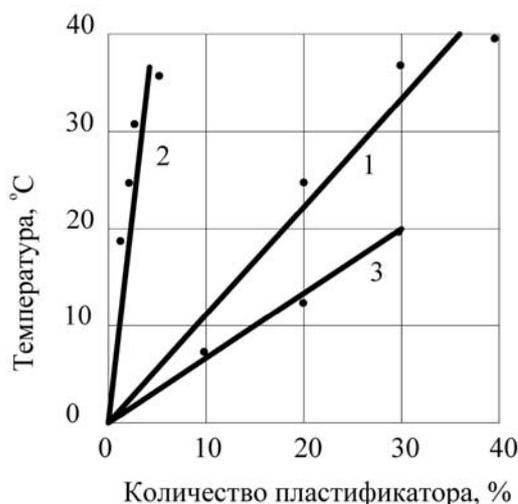


Рис. 2. Изменение температуры стеклования эпоксидной смолы при пластификации:
1 – МГФ-9; 2 – ПВА; 3 – каучук

По мере снижения температуры стеклования полимера снижается модуль упругости и увеличиваются потери энергии колебаний (рис. 3, 4). Эффективность вибропоглощения принято оценивать модулем потерь. Высокое значение этого показателя имеют эпоксидные полимеры, пластифицированные олигоэфиракрилатом МГФ – 9.

Изменение модуля потерь с увеличением количества пластификатора носит экстремальный характер (см. рис. 4). Максимальное его значение наблюдается при содержании в эпоксидном полимере ПВА – 5 %, МГФ-9 – 15-20 %, каучука – 15 %.

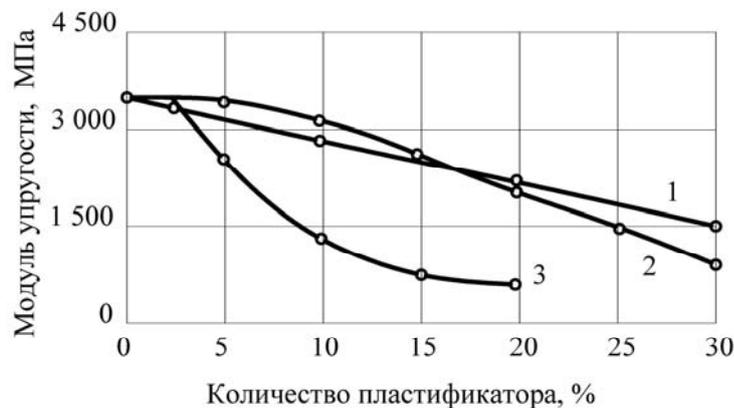


Рис. 3. Влияние пластификатора на модуль упругости эпоксидной смолы:
1 – МГФ-9; 2 – ПВА; 3 – каучук

где R – структурный фрагмент элементарного звена алифатического диэпоксида; R' – структурный фрагмент элементарного звена полиизоцианата.

Благодаря появлению в структуре эпоксидной смолы поперечной сшивающей цепи и уретановых фрагментов повышаются модуль упругости, прочность и демпфирующие свойства эпоксидной композиции.

Экспериментальные исследования показали, что модификация эпоксидной смолы полиизоцианатом Суризон АТГД–65 приводит к повышению демпфирующих свойств (рис. 5, 6) и прочности смолы. Наиболее эффективным оказался второй способ модификации. В этом случае одновременно увеличиваются коэффициент потерь и модуль упругости. Оптимальное количество полиизоцианата, при котором вибропоглощающие свойства смолы становятся наиболее эффективными, составляет 10 %.

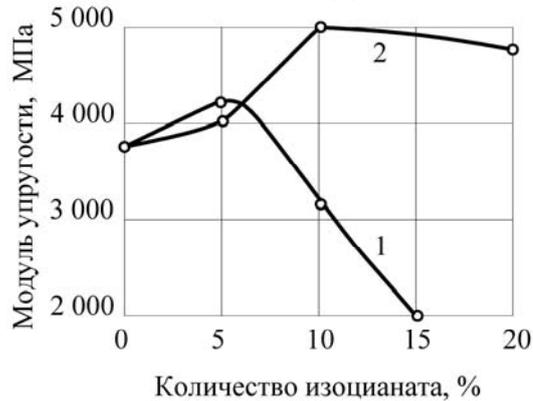


Рис. 5. Влияние полиизоцианата Суризон АТГД – 65 на модуль упругости эпоксидной смолы: 1 – при 1-м способе модификации; 2 – при 2-м способе модификации

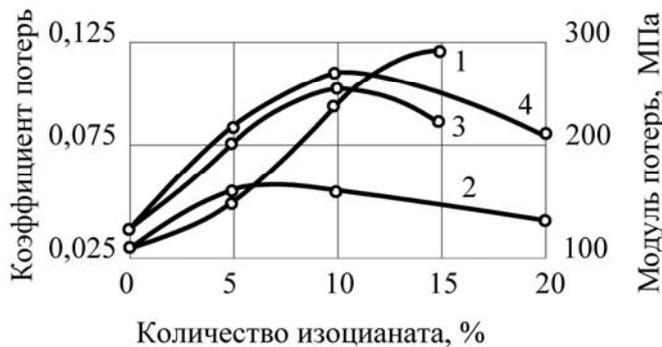


Рис. 6. Влияние полиизоцианата Суризон АТГД – 65 на коэффициент потерь эпоксидной смолы: 1, 2 – коэффициент потерь при 1-м и 2-м способах модификации соответственно; 3, 4 – модуль потерь при 1-м и 2-м способах модификации соответственно

Для бутилкаучука эффективным пластификатором является битум. В связи с этим проведены исследования по влиянию количества битума на вибропоглощающие свойства бутилкаучука. Результаты исследований представлены на рис. 7.

Смесь вязущих материалов представляет собой дисперсную систему, в которой дисперсная фаза и дисперсная среда зависят от содержания БК и битума. Следовательно, вид кривой модуля накопления E' на рис. 7 объясняется следующим образом:

– в первой области (содержание БК 30–50 %) высокомодульная дисперсная фаза БК деформируется вместе с мягкой дисперсной средой битума. В результате в матрице битума возникают большие внутренние напряжения, которые вызывают ее быстрое разрушение;

– во второй области (содержание БК 50–80 %) дисперсная фаза битума практически не мешает деформированию жесткой дисперсной среды (матрицы бутилкаучука). В этом случае бутилкаучук может в полной мере проявить свои прочностные и деформационные свойства.

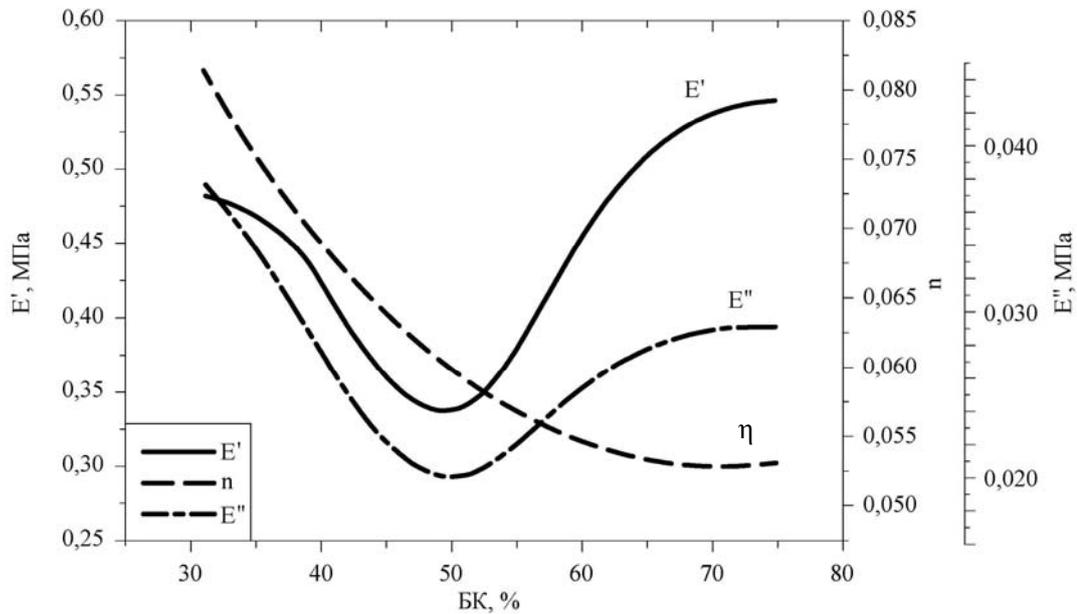


Рис. 7. Зависимость модуля накопления E' , модуля потерь E'' и коэффициента потерь η от содержания БК в матрице композита

Зависимость модуля накопления E' (см. рис. 7) – седловидного типа с минимумом при равном содержании БК и битума в материале. С увеличением количества бутилкаучука в матрице композита коэффициент потерь η и пенетрация снижаются, потому что бутилкаучук обладает большими прочностными свойствами (рис. 8), а свойства битума как пластификатора снижаются. Для увеличения адгезионных свойств эффективнее применение композитов с наибольшим содержанием БК.

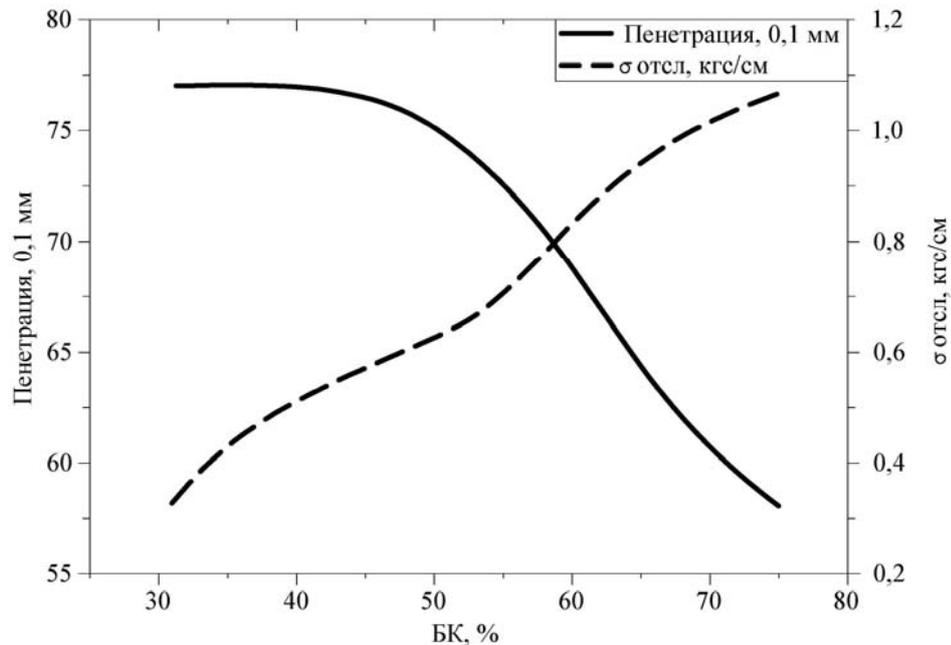


Рис. 8. Зависимость пенетрации и напряжения при отслаивании от содержания БК в матрице композита

Проведенные исследования показывают, что за счет введения пластификатора в состав вяжущего можно изменять вибропоглощающие свойства полимеров.

Максимальное увеличение модуля потерь у эпоксидных композитов наблюдается при содержании пластификаторов: ПВА – 5 % МГФ-9 – 15–20 %; каучука – 15 % и достигает значения 120 Мпа (коэффициент потерь 0,15 ед.)

Для каучуков наиболее эффективен битум в качестве пластификатора. При соотношении битума к БК 1:1 в композите коэффициент потерь достигает значения 0,06.

Список литературы

1. Соломатов, В.И. Вибропоглощающие композиционные материалы / В.И. Соломатов, В.Д. Черкасов, Н.Е. Фомин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 96 с.
2. Влияние различных компонентов на вибропоглощающие свойства полимерных материалов / Л.И. Тrepелкова, М.И. Палей, Б.Д. Тарковский, Н.И. Наумкина // Пласт. массы. – 1964. – № 10. – С. 36–40.
3. Козлов, П.В. Физико-химические основы пластификации полимеров / П.В. Козлов, С.П. Попков. – М.: Химия, 1982. – 224 с.
4. Лапицкий, В.А. Физико-механические свойства эпоксидных полимеров и стеклопластиков / В.А. Лапицкий, А.А. Крицук. – Киев: Наук. думка, 1986. – 96 с.
5. Тrepелкова, Л.И. Модифицированные эпоксидные олигомеры с высокими демпфирующими свойствами / Л.И. Тrepелкова // Пласт. массы. – 1973. – № 8. – С. 36–39.

References

1. Solomatov, V.I. Vibration-absorbing composite materials / V.I. Solomatov, V.D. Cherkasov, N.E. Fomin. – Saransk: Publishing house of the Mordovian University, 2001. – 96 p.
2. Influence of various components on the vibration-absorbing properties of polymer materials / L.I. Trepelkova, M.I. Paley, B.D. Tarkovsky, N.I. Naumkina // Plast. masses. – 1964. – № 10. – P. 36–40.
3. Kozlov, P.V. Physical and chemical basis of plasticization of polymers / P.V. Kozlov, S.P. Popkov. – M.: Chemistry, 1982. – 224 p.
4. Lapitsky, V.A. Physical and mechanical properties of epoxy polymers and fiberglass / V.A. Lapitsky, A.A. Kritsuk. – Kiev: Science. Dumka, 1986. – 96 p.
5. Trepelkova, L.I. Modified epoxy oligomers with high damping properties / L.I. Trepelkova // Plast. masses. – 1973. – No. 8. – P. 36–39.

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

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

Егунов Данила Анатольевич,
студент
E-mail: danike97@mail.ru

Сорокин Дмитрий Сергеевич,
студент

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Egunov Danila Anatolyevich,
Student
E-mail: danike97@mail.ru

Sorokin Dmitry Sergeevich,
student

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА

В.А. Береговой, Д. А. Егунов, Д.С. Сорокин

Рассмотрены технологические вопросы получения вяжущих веществ на основе химически активированного лигнина для производства экологически чистых строительных материалов. Объектом исследования являлся гидролизный лигнин, а управляющими факторами – химические вещества на основе соединений калия, а также температура нагрева и давление.

Ключевые слова: строительные материалы, лигнин, вяжущее вещество, физико-механические свойства

CONSTRUCTION MATERIALS AND BINDINGS ON THE BASIS OF HYDROLYTIC LIGNIN

V.A. Beregovoi, D.A. Egunov, D.S. Sorokin

Technological features of obtaining binders based on chemically activated lignin for the production of environmentally friendly building materials are considered. The object of the study was hydrolyzed lignin, and the controlling factors were chemicals based on potassium compounds, as well as the heating temperature and pressure.

Keywords: building materials, lignin, binding agent, physical and mechanical properties

Введение. Ежегодно в мире образуется около 50 млн тонн технических лигнинов. В большинстве случаев промышленная переработка этого вида техногенного сырья экономически не целесообразна, поэтому общий объем его утилизации не превышает 5...10 %. Остальная часть сжигается или хранится на полигонах-отстойниках, что ухудшает экологическую обстановку [1, 2].

Отечественная лесохимическая промышленность ежегодно вырабатывает около 1,5 млн тонн лигнина в виде побочного продукта целлюлозного и гидролизного производств. Специфика лигнинных отходов заключается в периодическом восстановлении запасов, формирующих техногенные месторождения, которые весьма медленно подвергаются биохимической коррозии. Это связано с тем, что основу отходов лесохимических предприятий составляют химически модифицированные лигнины, обладающие повышенной стойкостью к процессам биокоррозии.

Получением экологически чистых строительных материалов на основе лигносодержащих вяжущих веществ занимаются достаточно давно. Однако, несмотря на

очевидные преимущества лигнина (экологичность, гидрофобность, ценовая доступность) в сравнении со многими другими органическими вяжущими, инновационных отечественных технологий в этой области до настоящего времени не создано.

Положительным зарубежным примером промышленного изготовления лигнопластиков является производство материалов под названием «Arboform», освоенное в начале 2000-х годов фирмой TECNARO (г. Карлсруэ, Германия). Основой сырьевой композиции является лигнин, извлекаемый из растительных волокон. В табл. 1 приведены показатели свойств материала [3].

Т а б л и ц а 1

Показатели свойств лигнопластика «Arboform»

Наименование показателя	Ед. измерения	Значение
Предел прочности:	МПа	15...20
– при сжатии		
– при изгибе		10...50
Удлинение при разрыве	%	0,3...0,7
Модуль упругости	МПа	1000...5000
Ударная вязкость	КДж/м ²	2...5
Твердость	МПа	20...70
Коэффициент термического расширения	1/°С	50·10 ⁻⁶
Теплостойкость	°С	80...95
Теплопроводность	Вт/(м·°С)	0,384

Технологический процесс производства композита включает сплавление лигнина, органического мономера и наполнителя при температурах 100...180°С. В результате синтезируется лигнопластик с молекулярной массой 300000.

Материалы и методы исследования. Гидролизный лигнин – аморфное порошкообразное вещество темно-коричневого цвета плотностью 1,35...1,42 г/см³ и молекулярной массой 5000...10000. Усредненный компонентный состав вещества характеризуется наличием следующих соединений:

- лигнин – 40...88 %;
- полисахариды – 13...45 %;
- смолистые и вещества лигногуминового комплекса – 5...19 %;
- зольные элементы – 0,5...10 %.

Микроструктура лигнина представляет собой трехфазную полидисперсную систему с размерами частиц от нескольких миллиметров до микронов. Процентное содержание частиц с размерами:

- более 250 мкм – 54...80 %;
- 1...250 мкм – 17...46 %;
- менее 1 мкм – 0,2...4,3 %.

Проводились исследования влияния технологических факторов на связующую способность гидролизного лигнина, модифицированного добавками КОН и K₂O·nSiO₂.

Результаты исследования и обсуждение.

Эксперимент 1 – обработка лигнина активирующими жидкостями с последующим формованием образцов для оценки связующей способности получаемой массы. При термовлажностной обработке (ТВО) лигнина основаниями он гидролизуется, под действием нуклеофилов (ионов OH-) происходит расщепление эфирных связей, приводящее к деструкции протолигнина и растворению образовавшихся продуктов [1].

Исследуемые составы, параметры обработки и показатели свойств отвержденного вяжущего приведены в табл. 2.

Для проведения испытаний образцы готовили следующим образом. Сначала в стальных формах производили укладку и уплотнение сырьевой массы при давлении 3...5 кгс/см². После подсушивания в течение 24 часов образцы изымали из форм и помещали в сушильный шкаф при температуре 55...60 °С до их полного высыхания.

Состав, параметры обработки и показатели свойств лигнинного материала

№ состава	Расход компонентов, г			В/Т	Параметры ТВО		$R_{сж}$, МПа	ρ_m , кг/м ³	Y_o , %	$K_{вод}$, ед.
	Лигнин	Активатор			T , °С	P , кПа				
		КОН	K_2SiO_3							
1	100	1,5		1,5	90...100	105...110	15,2	1159	нд	нд
2	100		1,25	1,25	90	100	5,2	650	61	0,21
3	100	1,0		1,0			15,7	1244	73	0,45

Сравнение полученных данных с данными, приведенными в табл. 1 для лигнопластика «Arboform», показывает, что по показателю прочности при сжатии разработанный материал не уступает зарубежному аналогу.

В процессе тепловой обработки наблюдалась объемная усушка (Y_o) материала, связанная с удалением жидкой фазы и возникновением стягивающих капиллярных сил, сопровождающих процесс набора прочности.

Эксперимент 2 – получение силикатов калия для обеспечения процессов химической активации лигнина. Синтез K_2SiO_3 проводили, используя способность некоторых видов осадочных кремнеземистых пород органогенного происхождения к химическому взаимодействию с водным раствором едкого калия в условиях повышенных температур ($T=150$ °С) и давления ($P=300$ кПа). Технические показатели продукта синтеза – водной суспензии силикатов калия и непрореагировавших остатков – представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Состав и показатели свойств водной суспензии силикатов калия

Активатор	Содержание, %			Силикатный модуль	ρ , г/см ³	Характеристика	
	опока	щелочь	вода			расслаиваемость	описание
КОН	35	15	50	3,0...3,5	1,35	до 3 суток	серая масса

Влияние давления, а также содержания активатора (КОН) на связующую способность получаемых силикатов калия показано на рис. 1.

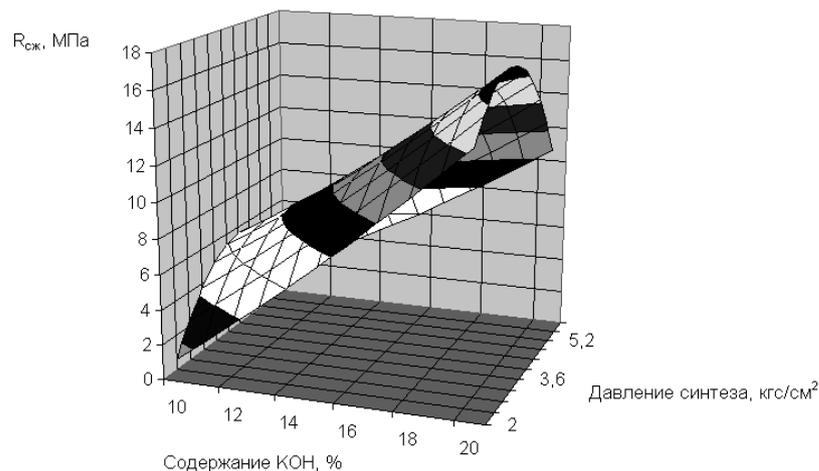


Рис. 1. Влияние параметров процесса получения на связующую способность силикатов калия

Эксперимент 3 – исследование кинетики водопоглощения образцов пластика на основе активированного лигнина. Результаты испытаний приведены на рис. 2.

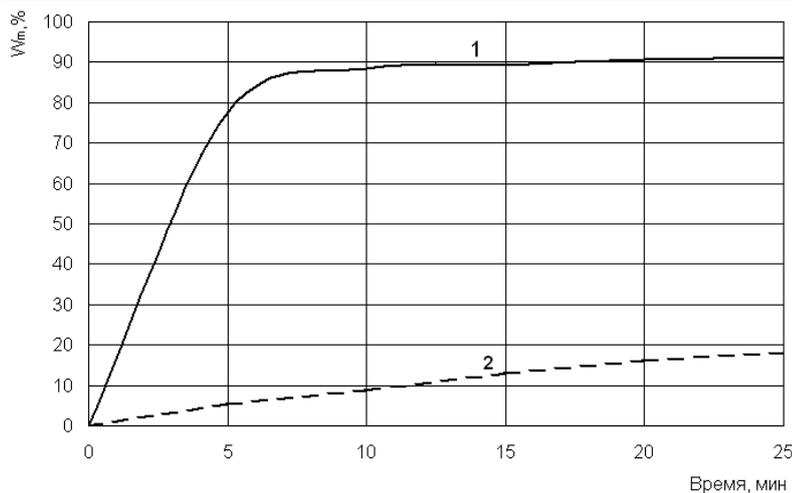


Рис. 2. Водопоглощение материала:

1 – состав № 2; 2 – состав № 3 (обозначение составов по табл. 1)

Начальный участок кривых имеет максимальный тангенс наклона, что указывает на ускоренное поглощение лигнопластиком воды за счет быстрого заполнения открытых пор, расположенных на его поверхности [4]. По кривым, приведенным на рис. 2, были определены характеристические параметры поровой структуры. С этой целью была использована аппроксимирующая функция вида:

$$W_m = W_{\max} (1 - e^{-\bar{\lambda}t}), \quad (1)$$

где W_{\max} – максимальное водопоглощение; $\bar{\lambda}$ – параметры поровой структуры лигнопластика; t – время.

Значения параметров уравнения (1) для исследуемых составов равны:

- кривая № 1: $W_{\max}=90$ %; $\bar{\lambda} = 0,429$;
- кривая № 2: $W_{\max}=18,2$ %; $\bar{\lambda} = 0,087$.

Выводы. Гидролизный лигнин, модифицированный подобранными щелочными компонентами и обработанный во влажной среде при температурах 90...110°C, приобретает конкурентоспособные вяжущие свойства. Так, прочность контрольных образцов, изготовленных на вновь полученном вяжущем, достигает 15 МПа. Степень снижения прочности при водонасыщении материала зависит от его плотности и вида химического модификатора, использованного при его получении. Лучшие показатели были достигнуты при применении добавки КОН: коэффициент водостойкости составил 0,45, прочность на сжатие 15,7 МПа при плотности 1240 кг/м³.

Для решения задачи улучшения качества композиционных материалов на основе термо- и химически активированного лигнина необходимо использовать системный подход, позволяющий произвести многокритериальную оптимизацию состава, в том числе по показателям водостойкости и прочности [5]. В первом случае состав сырьевой смеси для изготовления лигнопластика целесообразно усложнить введением гидрофобных эмульсий – парафина, канифоли, битума, церезина, петролатума – в количестве до 2...3 %. Для упрочнения материала можно использовать [6]:

- добавку растительного происхождения в виде высыхающих масел (льняное, конопляное) или одноименных олиф;
- полимерные компоненты (атактический полипропилен, стирол-бутадиен-стирол, синтетические смолы и т.п.).

Список литературы

1. Арбузов, В.А. Конструкционные материалы из лигнинных веществ / В.А. Арбузов. – М. Экология, 1991. – 208 с.

2. Осипова, Л.В. Использование продуктов растительного происхождения в качестве сырья для получения органических продуктов и полимерных материалов / Л.В. Осипова // Хим. промышленность за рубежом. – 1989. – №8. – С.48–60.
3. TECNARO – The Biopolymer Compan. – URL: <http://www.tecnaro.de> (Дата обращения: 27.05.2017).
4. Береговой, В.А. Эффективные пенокерамобетоны общестроительного и специального назначения: дис.... д-ра техн. наук: 05.23.05 / В.А. Береговой. – Пенза: ПГУАС, 2012.
5. Синтез строительных материалов со специальными свойствами на основе системного подхода / А.П. Прошин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2003. – № 7. – С. 43–47.
6. Береговой, В.А. Строительная древесина: параметры модифицирования и свойства / В.А.Береговой, Д.А. Егунов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 1. – С. 25–30.

References

1. Arbuzov, V.A. Structural materials of ognennyh substances / V.A. Arbuzov. – M.: Ecology, 1991. – 208 p.
2. Osipov, L.V. Use of plant products as raw material for organic and polymer materials / L.V. Osipov // Chem. industry abroad. – 1989. – №8. – P. 48–60.
3. TECNARO – The Biopolymer Compan. – URL: <http://www.tecnaro.de> (date of access: 27.05.2017).
4. Beregovoi, V.A Effective foam-ceramic-concretes for general and special purpose. The dissertation ... doctors of technical sciences: 05.23.05 / V.A Beregovoi. – Penza: PSUAC, 2012.
5. Synthesis of building materials with special properties based on the system approach / A. P. Proshin [etc.] //News of higher educational institutions. Construction. – 2003. – № 7. – P. 43–47.
6. Beregovoi, V.A. Construction wood: modifying parameters and properties / V.A. Beregovoi, D.A. Egunov // Regional architecture and engineering. – 2017. – № 1. – P. 54–57.

УДК 699.86

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

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

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ОТДЕЛОЧНЫХ СОСТАВОВ

В.И. Логанина, М.В. Фролов

Оценена экономическая эффективность использования в качестве высокопористых наполнителей в рецептуре теплоизоляционного сухого отделочного состава стеклянных полых микросфер и зольных микросфер алюмосиликатных.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, стеклянные полые микросферы, зольные микросферы алюмосиликатные, энергоэффективность, теплопроводность

EVALUATION OF ECONOMIC EFFICIENCY OF HEAT-INSULATING OF GLASS HOLLOW MICROSPHERES AND ASH ALUMINOSILICATE MICROSPHERES COMPOSITIONS USE

V.I. Loganina, M.V. Frolov

The economic efficiency of the use of as high-porosity fillers in the formulation of the heat-insulating dry finishing composition of glass hollow microspheres and ash aluminosilicate microspheres is estimated.

Keywords: dry construction mixtures, glass hollow microspheres, aluminosilicate ash microspheres, energy efficiency, thermal conductivity

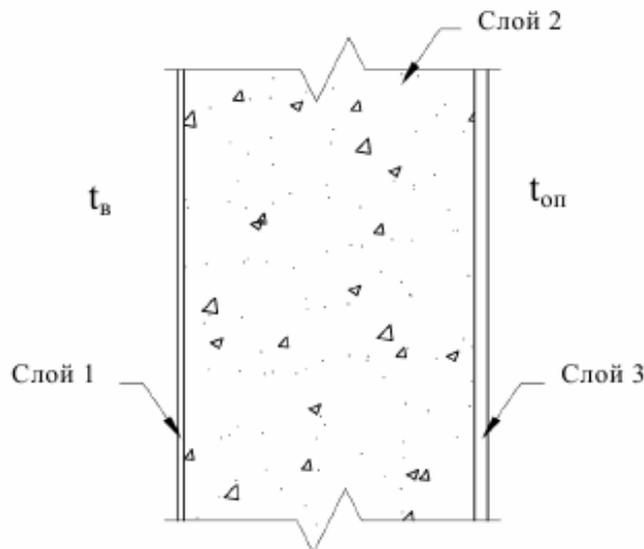
Необходимость повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций обусловлена возросшими требованиями к энергетической эффективности зданий. Эту задачу можно решить за счет использования новых строительных материалов, характеризующихся повышенными теплоизоляционными качествами. Один из способов повышения теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций – наружное утепление теплоизоляционными сухими строительными смесями (ССС) [1–3].

В ходе предварительно проведенных исследований нами были разработаны 2 состава теплоизоляционных ССС, различающиеся видом высокопористого наполнителя. Покрытия на основе этих составов характеризуются низким коэффициентом теплопроводности и высокими показателями закрытой пористости. 1-й состав ССС: известь-пушонка, белый цемент, добавка на основе смеси силикатов кальция, молотые отходы производства газобетона, модифицирующие добавки, стеклянные полые микросферы [4]. 2-й состав ССС: известь-пушонка, белый цемент, добавка на основе

смеси силикатов кальция, молотые отходы производства газобетона, модифицирующие добавки, зольные микросферы алюмосиликатные [5]. Данные ССС рекомендованы для внутренней и наружной отделки стен из газобетонных блоков [6].

Были проведены исследования по оценке экономической эффективности использования разработанных ССС в качестве теплоизоляционного штукатурного слоя. Наружные климатические параметры приняты по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99» для условий г. Пензы: средняя температура отопительного периода $t_{оп} = -4,1^{\circ}\text{C}$; продолжительность отопительного периода $n_{оп} = 200$ сут. Расчетные параметры внутреннего воздуха приняты в соответствии с требованиями СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» для жилых зданий: расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в} = 20,0^{\circ}\text{C}$.

В работе сравнивается 2 варианта ограждающих конструкций (см. рисунок).



Расчетная схема ограждающей конструкции

Слой 2 у всех ограждающих конструкций идентичен, изменяется материал слоев 1 и 3. Конструктивное исполнение ограждающей конструкции представлено в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Конструктивное исполнение ограждающей конструкции

Номер слоя	Материал	Толщина слоя δ , м	Средняя плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$	Коэффициент теплопроводности для условий А λ_A , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
1	А	0,02	600	0,135
	Б		860	0,211
2	газобетон	0,45	400	0,14
3	А	0,02	600	0,135
	Б		860	0,211

Потери теплоты через 1 м^2 ограждающей конструкции стены за отопительный период Q , Вт, определялись по формуле

$$Q = n_{оп} \cdot z \cdot (t_{в} - t_{н.ср}) \cdot k, \quad (1)$$

где $n_{оп}$ – продолжительность отопительного периода, принимаем равной 200 суток; z – время работы системы отопления в сут, принимаем 24 часа; $t_{в}$ – расчетная температура

воздуха в помещении, принимаем равной 20°C; $t_{н.ср}$ – средняя температура воздуха за отопительный период, принимаем -4,1°C; k – коэффициент теплопередачи наружного ограждения, Вт/(м²·°C).

Затраты на тепловую энергию, необходимую для компенсации потерь теплоты через ограждение за отопительный период T , руб/год, вычислялись по формуле

$$T = Q \cdot 1,163 \cdot 10^{-6} \cdot \text{Ц}_{х(Т)}, \quad (2)$$

где $\text{Ц}_т$ – стоимость тепловой энергии, принимаемая равной 1500 руб./Гкал (в соответствии с Приказом №156 от 18 декабря 2015 года «Об установлении тарифов на тепловую энергию (мощность) для потребителей теплоснабжающих организаций на территории Пензенской области на 2016-2018 гг.»).

Теплотехнические характеристики исследуемой ограждающей конструкции приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Энергоэффективность ограждающей конструкции при наличии теплоизоляционной штукатурки

Вариант исполнения ограждающей конструкции	А	Б
Термическое сопротивление ограждающей конструкции R , м ² ·°C/Вт	3,31	3,21
Коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции k , Вт/(м ² ·°C)	0,302	0,312
Потери теплоты через 1 м ² ограждающей конструкции стены за отопительный период Q , Вт	34935	36092
Затраты на тепловую энергию, необходимую для компенсации потерь теплоты через 1 м ² ограждающей конструкции стены за отопительный период T , руб./год	60,94	62,96
Себестоимость материалов, необходимых для производства разработанных составов ССС в количестве, требуемом для отделки 1 м ² ограждающей конструкции стены, руб.	2408	789

При использовании в качестве отделочного состава для газобетона ССС, наполненной зольными микросферами алюмосиликатными, затраты на тепловую энергию T составляют 62,96 руб/год. Применение в качестве отделочного состава ССС, наполненной полыми стеклянными микросферами, позволяет снизить затраты на тепловую энергию T на 3,2 %. При этом из-за высокой стоимости полых стеклянных микросфер себестоимость материалов, необходимых для производства ССС, возрастает более чем в 3 раза.

В табл. 3 приведены технические характеристики покрытий, полученных с использованием разработанных ССС.

Т а б л и ц а 3

Свойства разработанных ССС

Технические характеристики	1-й состав ССС	2-й состав ССС
Прочность при сжатии, МПа	3,20-3,40	4,20-4,40
Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии λ , Вт/(м·К)	Не более 0,120	Не более 0,180
Коэффициент паропроницаемости, μ , мг/(м·ч·Па)	Не менее 0,155	Не менее 0,150
Адгезионная прочность $R_{ад}$, МПа	Не менее 0,6	Не менее 0,6
Расход ССС на 1 м ² при слое толщиной 10 мм, кг	5,5-6,0	7,5-8,0
Морозостойкость	F35	F35

Приведенные данные показывают более высокую экономическую эффективность применения в качестве наполнителя в теплоизоляционных ССС зольных микросфер алюмосиликатных по сравнению с полыми стеклянными микросферами. Разрабо-

танная ССС, наполненная зольными микросферами алюмосиликатными, соответствует требованиям нормативных документов, и ее можно рекомендовать для отделки газобетонных блоков [7,8].

Список литературы

1. Теплая штукатурка. Утеплитель для стен дома / С.Д. Козлов, В.Г. Коридзе, А.В. Бондарь, А.О. Чайковский // Бюллетень науки и практики. – 2017. – №5. – С.112–115.
2. О возможности использования микросфер с модифицированной поверхностью в составе тонкопленочных теплоизоляционных покрытий / В.А. Рыженков, Н.А. Логина, А.И. Бычков, А.Ф. Прищепов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – №4. – С.21–23.
3. Набиевский, С.Ю. Производство сухих строительных смесей с применением вспученного перлита / С.Ю. Набиевский, Л.В. Алексеева // Сухие строительные смеси. – 2012. – №6. – С.26–27.
4. Логанина, В.И. Эффективность применения теплоизоляционной штукатурки с применением микросфер для отделки газобетонной ограждающей конструкции / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – №5. – С.55–62.
5. Логанина, В.И. Использование зольных алюмосиликатных микросфер в известковых сухих строительных смесях для отделки / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Вестник белгородского государственного университета им В.Г.Шухова. – 2017. – №3. – С.6–8.
6. Логанина, В.И. Оценка трещиностойкости покрытий на основе теплоизоляционного состава для отделки газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №1. – С.30–35.
7. СТО 501-52-01-2007. Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации. Часть 1. Введ. 25.01.2007. – М.: Ассоциация строителей России, 2007. – 30 с.
8. Руководство по наружной отделке стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения. 1 редакция. – Белгород: Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона, 2010. – 5 с.

References

1. Warm plaster. Insulation for the walls of the house / S.D. Kozlov, V.G. Koridze, A.V. Bondar, A.O. Tchaikovskiy // Bulletin of science and practice. – 2017. – №5. – P.112–115.
2. On the possibility of using microspheres with a modified surface in the composition of thin-film heat-insulating coatings / V.A. Ryzhenkov, N.A. Loginova, A.I. Bychkov, A.F. Prischepov // Energy saving and water treatment. – 2013. – №4. – P. 21–23.
3. Nacievskij, S.Ju. Production of dry mixes with expanded perlite / S.Ju. Nacievskij, L.V. Alekseeva // Dry mixes. – 2012. – № 6. – P. 26–27.
4. Loganina, V.I., Frolov M.V. Efficiency of using heat-insulating plaster with the use of microspheres for finishing the gas-concrete enclosing structure / V.I. Loganina, M.V. Frolov // News of higher educational institutions. Construction. – 2016. – № 5. – P. 55–62.
5. Loganina, V.I. Use of ash aluminosilicate microspheres in calcareous dry construction mixtures for finishing / V.I. Loganina, M.V. Frolov // Bulletin of the Belgorod State University Shukhov. – 2017. – № 3. – P.6–8.
6. Loganina, V.I. Evaluation of the crack resistance of coatings based on the thermal insulation composition for finishing aerated concrete / V.I. Loganina, M.V. Frolov // Regional architecture and engineering. – 2017. – №1. – P.30–35.
7. STO 501-52-01-2007. Design and construction of shells of residential and public buildings with the use of cellular concrete in the Russian Federation. Part 1. – M.: Association of Russian Builders, 2007. – 30 p.
8. Guidelines for outer wall decoration from cellular concrete blocks autoclaved. 1 edition. – Belgorod: National Association of autoclaved aerated concrete, 2010. – P. 5.

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

Коровкин Марк Олимпиевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: m_korovkin@mail.ru

Гринцов Дмитрий Михайлович,
аспирант кафедры «Технологии
строительных материалов и
деревообработки»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Korovkin Mark Olimpiievich,
Candidate of Sciences, higher doctorant and
senior lecturer of the department of
«Technolgy of building materials and
woodworking»
E-mail: m_korovkin@mail.ru

Grintsov Dmitry Mikhailovich,
Postgraduate of «Technolgy of building
materials and woodworking»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ В БЕТОНАХ С НИЗКИМ РАСХОДОМ ЦЕМЕНТА

М.О. Коровкин, Д.М. Гринцов

Исследовано влияние состава бетона на эффективность суперпластификаторов. Показано, что эффективное применение этих добавок возможно только при условии введения в состав бетона порошкового компонента – активной или инертной минеральной добавки, а также тонкого песка.

Ключевые слова: бетон, суперпластификатор, минеральная добавка, тонкий песок, эффективность

IMPROVING THE EFFICIENCY OF SUPERPLASTICIZERS IN CONCRETES WITH LOW CEMENT CONSUMPTION

M.O. Korovkin, D. M. Grintsov

The influence of concrete composition on the efficiency of superplasticizers was investigated. It was shown that effective application of these additives is possible only in condition of introduction a composition of powder component in the form of active or inert mineral additive, or as fine sand into concrete.

Keywords: concrete, superplasticizer, mineral additive, fine sand, efficiency

В настоящее время в России бетоны производятся преимущественно с суперпластификаторами (СП) старого поколения на нафталинсульфонатной основе, а объемы применения новых, более эффективных СП на поликарбоксилатной основе намного меньше. Основной причиной этого принято считать высокую стоимость СП нового поколения. Повышение стоимости бетона при замене СП на более дорогую, но при этом более эффективную добавку считается оправданным только при ее использовании в высокопрочных, сверхвысокопрочных или самоуплотняющихся бетонах, которые невозможно получить за счет применения обычных СП.

Однако стоимость добавок не является единственным фактором, определяющим рациональность использования более эффективных СП. Анализируя причины снижения эффективности СП при переходе от высокопрочных бетонов к бетонам средних и низких классов, часто упускают из виду то, что при этом уменьшается объем цементного теста в бетоне, которое можно рассматривать в качестве реологической матрицы бетонной смеси [1]. При снижении содержания цементно-водной матрицы в

бетонной смеси возрастает значение контактного взаимодействия частиц заполнителя между собой, поэтому повышение текучести матрицы приводит не к улучшению удобоукладываемости смеси, а к ее расслоению. Очевидно, что недостаточный объем цементно-водной матрицы в бетонах низких классов является причиной невысокой эффективности в таких бетонах СП. Преодоление этого негативного фактора возможно за счет введения в состав бетона порошкового компонента – активной или инертной минеральной добавки – с целью увеличения объема реологической матрицы бетонной смеси. Для таких бетонов предложен термин «порошково-активированный бетон» [1, 2].

Исследование эффективности совместного использования высокоэффективного СП и порошкового компонента в рецептуре бетона проводилось на составах с пониженными расходами цемента. Для приготовления бетона применялись следующие материалы: цемент Красноярский ПЦ 500Д0; песок-заполнитель фр. 0,63-5 мм (P_3); мелкий песок фр. 0,16-0,63 мм (P_T); тонкодисперсные наполнители – микрокремнезем (МК) с Новолипецкого металлургического комбината, кварцевая мука (молотый песок – P_M) с дисперсностью 380 м²/кг. В составах 2 и 3 (табл. 1) использовался щебень фр. 5-10 мм, в остальных составах – щебень фр. 5-15 мм. В качестве СП применялись добавки на нафталиновой основе С-3, а также на поликарбоксилатной основе – Melflux 1641.

Подбор составов бетона осуществлялся с учетом предложенных в работах [3, 4] безразмерных параметров соотношений сырьевых компонентов и критериев условных реологических матриц. В качестве таких параметров состава использовались соотношения песка тонкого, песка молотого, песка заполнителя, суммарного расхода тонкого и песка-заполнителя к цементу соответственно – P_T/C , P_M/C , P_3/C и $\Sigma P/C$, соотношения щебня к песку заполнителя и цементу – $Щ/P_3$ и $Щ/C$, соотношение песок+щебень к цементу $(P+Щ)/C$ и коэффициент относительного содержания песка $\gamma = P_3/(P_3+Щ)$.

Реологические матрицы бетонной смеси характеризовались через:

– избыток объема цементной водно-дисперсной матрицы $I_{ЦД}^{P_T}$ над объемом тонкого песка

$$I_{ЦД}^{P_T} = \frac{V_{ЦД}^{P_T}}{V_{P_T}} = \frac{V_C + V_{KM} + V_{МК} + V_B}{V_{P_T}};$$

– избыток объема цементной водно-дисперсно-песчаной матрицы $I_{ЦДП}^{P_3}$ над объемом песка заполнителя

$$I_{ЦДП}^{P_3} = \frac{V_{ЦДП}^{P_3}}{V_{P_3}} = \frac{V_C + V_{KM} + V_{МК} + V_{P_T} + V_B}{V_{P_3}};$$

– избыток объема растворной матрицы $I_P^{Щ}$ бетонной смеси над объемом щебня

$$I_P^{Щ} = \frac{V_P^{Щ}}{V_{Щ}} = \frac{V_C + V_{МК} + V_{P_T} + V_{P_3} + V_B}{V_{Щ}};$$

где V_C , $V_{МК}$, V_{P_T} , V_{P_3} , $V_{Щ}$, V_B – объемы цемента, микрокремнезема, песка тонкого, песка заполнителя, щебня и воды, соответственно.

Были исследованы удобоукладываемость бетонной смеси, а также прочность при сжатии, прочность при изгибе и плотность бетонов. После определения прочностных свойств бетонов рассчитывались удельные расходы цемента на единицу прочности при сжатии C_{Rc} и изгибе $C_{Rи}$, которые являются важными критериями оценки технической эффективности бетона.

На первом этапе исследовался 4-компонентный бетон (цемент, песок, щебень, вода) без введения в состав бетона тонкомолотых добавок и суперпластификаторов. На втором этапе в состав бетона кроме СП вводились минеральные добавки и тонкий песок.

Предварительные исследования составов с расходом цемента 150-160 кг/м³ показали, что даже при использовании высококачественного песка и щебня может

быть получена очень жесткая бетонная смесь, в которой при вибровоздействии происходит стекание растворной смеси к дну формы.

Повышение содержания цемента в бетоне до 180 кг/м³ (состав 1, табл. 1) позволяет получить бетонную смесь слитной структуры, удобоукладываемость которой характеризуется жесткостью 20 с. При введении в состав бетона СП Melflux 5581 необходимо повысить расход песка для получения нерасслаивающейся смеси, при этом расход цемента и щебня может быть снижен (состав 2, табл. 1). В сравнении с составом 1 прочность состава 2 осталась на прежнем уровне, но при этом уменьшился удельный расход цемента на единицу прочности (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Составы малоцементных бетонов и индексы компонентов состава бетона

Компоненты бетона	Расход компонентов, кг/м ³ , для различных составов бетона				
	1	2	3	4	5
Цемент	180	157	146	176	173
Микрокварц (П _м)	–	–	205	185	182
Микрокремнезем (МК)	–	–	10,2	12,3	12,0
Песок тонкий фр. 0,16-0,63 мм (П _т)	–	–	488	485	476
Песок заполнителя фр. 0,63-5 мм (П _з)	850	915	281	519	450
Щебень	1280	1229	1146	868	882
СП С-3	–	–	–	–	1,6
СП Melflux 1641	–	–	1,3	1,6	–
Вода	148	119	154	176	181
Индексы компонентов состава бетонов					
В/Ц	0,822	0,758	1,055	1,000	1,046
П _т /Ц	–	–	3,34	2,76	2,76
П _м /Ц	–	–	1,4	1,05	1,05
П _з /Ц	4,72	5,83	1,92	2,95	2,66
Щ/П _з	1,51	1,34	4,08	1,67	1,92
Щ/Ц	7,11	7,83	7,85	4,93	5,1
ΣП/Ц	4,72	5,83	6,67	6,76	6,47
г	0,4	0,43	–	–	–
(П+Щ)/Ц	11,8	13,7	–	–	–
И _р ^щ	1,1	1,14	1,35	2,13	2,07
И _щ ^{пт}	–	–	1,54	1,69	1,81
И _{щп} ^{пз}	–	–	4,42	2,57	2,97

Т а б л и ц а 2

Свойства бетонных смесей и бетонов

Свойство	Номер состава бетона				
	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
Жесткость, с	20	20	17	–	17
Осадка конуса, см	–	–	–	23	–
Плотность, кг/м ³	2277	2317	2410	2389	2350
Прочность при сжатии, МПа, через:					
2 сут	7,1	11,9	10,9	12	8,6
7 сут	15,2	14,9	19,8	25	11,1
28 сут	18,7	18,7	34,4	40,1	28,6

1	2	3	4	5	6
Прочность при изгибе, МПа, через:					
2 сут	-	-	2,3	3	2,5
7 сут	3,88	4,42	4,6	4,8	3,7
28 сут	4,87	4,82	8,7	7,6	6,2
Индексы расхода цемента на единицу прочности, кг/МПа:					
$\rho_{\text{Рс}}^{\text{уд}}$	9,6	8,4	4,2	4,4	6,1
$\rho_{\text{Ри}}^{\text{уд}}$	37	32,6	16,8	23,2	28,4

Введение в состав бетона дисперсных компонентов – микрокварца, микрокремнезема, тонкого песка и СП Melflux 1641 – позволяет уменьшить расход цемента (состав 3, табл. 1) и при В/Ц = 1,05 получить прочность при сжатии 34,4 МПа. Такой бетон характеризуется двукратным сокращением удельного расхода цемента на единицу прочности.

Значительное повышение удобоукладываемости бетонной смеси, обеспечивающее ее переход от марки Ж2 к марке П5, может быть достигнуто за счет увеличения расхода песка и сокращения расхода щебня, а также повышения на 20 % в сравнении с составом 3 расхода цемента и СП при неизменном объемном содержании дисперсных компонентов цемента (см. состав 4 в табл. 1 и 2). Несмотря на значительное повышение удобоукладываемости бетонной смеси, удельный расход цемента на единицу прочности остался таким же низким, как и в составе 3. Замена добавки Melflux 1641 на менее эффективный СП старого поколения С-3 в составе 5 приводит к существенному снижению удобоукладываемости смеси даже при повышении расхода воды, при этом снижаются значения прочности во все сроки испытания и удельный расход цемента на единицу прочности.

Выводы

Эффективное использование суперпластификаторов в бетонах с низким расходом цемента возможно только при введении в состав бетона значительного количества минеральной добавки (порошкового компонента) и тонкого песка. Установлено, что при повышении дозировки этих компонентов применение суперпластификаторов нового поколения на поликарбоксилатной основе является более эффективным.

Список литературы

1. Калашников, В.И. Терминология науки о бетоне нового поколения / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2011. – № 3. – С. 103–106.
2. Калашников, В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2012. – № 6. – С. 70–71.
3. Калашников, В.И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2010. – № 10. – С. 4–6.
4. Калашников, В.И. Супер- и гиперпластификаторы. Микрокремнеземы. Бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / В.И. Калашников // «ALITinform» международное аналитическое обозрение. – 2011. – №4 (21). – С. 52–60.

References

1. Kalashnikov, V.I. Terminology of the science of concrete of a new generation / V.I. Kalashnikov // Building Materials. – 2011. – № 3. – P. 103–106.
2. Kalashnikov, V.I. What is powder-activated concrete of new generation / V.I. Kalashnikov // Building materials. – 2012. – No. 6. – P. 70–71.
3. Kalashnikov, V.I. Calculation of compositions of high-strength self-compacting concrete / V.I. Kalashnikov // Building Materials. – 2010. – № 10. – P. 4–6.
4. Kalashnikov, V.I. Super- and hyperplasticizers. Microsilica. Concrete of a new generation with low specific consumption of cement per unit strength / V.I. Kalashnikov // «ALITinform» international analytical review. – 2011. – № 4 (21). – P. 52–60.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 620.169.1

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

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

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

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

Сорокин Евгений Вячеславович,
кандидат технических наук, доцент
E-mail: ntorm80@mail.ru

Шабаетв Ильшат Наильевич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции» архитектурно-строительного
факультета
E-mail: ilshatshabaev@yandex.ru

*National Research Ogarev Mordovia State
University*

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

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

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

Sorokin Evgeny Vyacheslavovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
E-mail: ntorm80@mail.ru

Shabaev Ilshat Nailevich,
Postgraduate of the department «Building
designs» architectural-building faculty
E-mail: ilshatshabaev@yandex.ru

ГЕНЕЗИС ТРЕЩИН В ПРОЦЕССЕ НАГРУЖЕНИЯ ПРИЗМ ИЗ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА СЖИМАЮЩЕЙ НАГРУЗКОЙ

В.П. Селяев, П.В. Селяев, Е.В. Сорокин, И.Н. Шабаетв

Методом оптической микроскопии исследуется эволюция развития трещин в бетоне при наличии врожденного дефекта и действии сжимающих нагрузок.

Рассматриваются два сценария (две гипотезы) развития процесса разрушения бетонного элемента. Первый – трещина разрушения формируется в процессе эволюции дефекта структуры. Во втором – предполагается, что прообраз магистральной трещины на уровне макроструктуры формируется в процессе технологии изготовления изделия.

Анализом диаграмм деформирования, записанных в непрерывном режиме нагружения, подтвержден вывод о наличии при сжатии бетона двух конкурирующих процессов: уплотнения и разуплотнения структуры. Разрушение образца происходит в

результате развития врожденного дефекта после разрушения бетона в объеме. Фрактальная размерность очертания трещины показывает, что разрушение цементного композита можно рассматривать исходя из основных положений теории геометрических фрактальных систем, что открывает возможность для количественного описания сложной, многокомпонентной, многофазной структуры бетона.

Ключевые слова: бетоны, фрактал, развитие трещин, врожденный дефект, диаграмма деформирования

THE GENESIS OF CRACKS DURING LOADING PRISMS FROM CEMENT CONCRETE BY COMPRESSIVE LOAD

V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, E.V. Sorokin, I.N. Shabaev

The evolution of cracks development in concrete in the presence of a congenital defect and the action of compressive loads is researched by the method of optical microscopy.

The authors consider two hypotheses of the process development of destruction of a concrete element. Firstly, crack fracture is formed in the process of defect structure evolution. Secondly, it is assumed that the prototype of main cracks at the level of macrostructure is formed in the process of product manufacturing technology.

By the analysis of stress-strain diagrams recorded in a continuous mode of loading, the authors confirmed the conclusion about the presence of in two competing processes compressive concrete: compaction and decompaction of the structure. The destruction of the sample occurs as a result of development of a congenital defect after the destruction of the concrete volume. Fractal dimension of the crack shape shows that the destruction of the cement composite can be considered from the fundamental provisions of the theory of geometric fractal systems, which opens up the possibility for quantitative description of complex, multicomponent, multiphase structure of concrete.

Keywords: concretes, fractal, development of cracks, congenital defect, stress-strain diagram

Разрушение бетона при сжатии принято рассматривать как процесс образования и развития трещин [1, 2, 3]. Техническим комплексом RILEMTC-122-MLC: «Микротрещинообразование и долговечность бетона» предложены для обсуждения классификации [4, 5, 6], в которых рассматривается три типа трещин: окаймляющие – трещины в контактной зоне сцепления между заполнителем и матрицей (раствором); трещины в растворе; трещины в заполнителе. Окаймляющие трещины, по мнению исследователей [6, 7], широко распространены даже в ненагруженном бетоне.

По происхождению трещины могут быть приобретенными в процессе силовых, температурных и других химических или физических воздействий или врожденными, размер и объем (плотность на единицу объема) которых зависят от уровня технологии изготовления бетона [3]. Генезис трещин в структуре бетона происходит поэтапно, каждый этап характеризуется количественными и качественными изменениями в структуре бетона, увеличением плотности, размеров трещин. Под действием сжимающих напряжений на первом этапе закрываются врожденные трещины; на втором этапе появляются и развиваются новые микротрещины; на третьем этапе формируется магистральная трещина; на четвертом этапе происходит лавинообразное, необратимое разрушение структуры бетона; пятый этап характеризуется разрушением отдельных структурных элементов в разрушенном объеме бетонного образца.

При проведении исследований авторами ставилась цель с помощью метода оптической микроскопии проследить эволюцию развития трещин в бетоне при наличии врожденного дефекта и действии сжимающих нагрузок.

При сжатии возможны два сценария (две гипотезы) развития процесса разрушения бетонного элемента.

В первом – трещина разрушения формируется в процессе эволюции дефекта структуры. Микродефекты – трещины – развиваются, объединяются, прорастают и на более высоком масштабном макроуровне образуют трещину критической длины (магистральную), катастрофическое развитие которой приводит к разрушению образца.

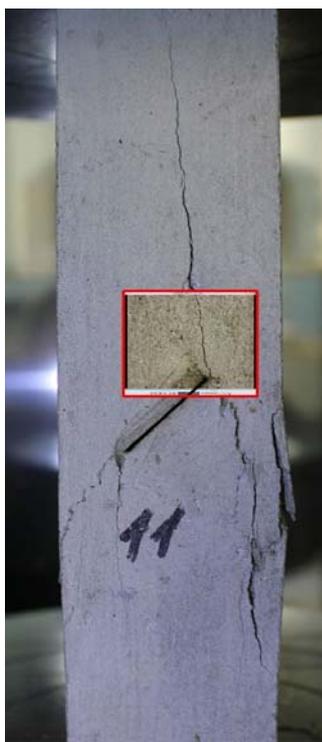


Рис. 1. Вид образца-призмы под нагрузкой. Выделен фрагмент наблюдения за развитием трещин

Во втором – предполагается, что прообраз магистральной трещины на уровне макроструктуры формируется в процессе технологии изготовления изделия. Эволюция дефектной структуры под действием сжимающих напряжений изменяет, ухудшает упругие, деформативные, прочностные свойства матрицы, и наступает момент, когда они начинают соответствовать предельным условиям, необходимым для роста врожденной, «спящей» трещины, которая выступает в созданных условиях в качестве магистральной.

Для проверки выдвинутых гипотез были изготовлены образцы-призмы размером 40x40x160 мм. На расстоянии 80 мм от торца призмы с помощью металлической пластины формировалась трещина длиной $2l=20$ мм и шириной раскрытия $\delta=0,5$ мм (см. рис. 1). Образцы изготавливались из мелкозернистого цементного композита состава в г по массе: цемент ЦЕМ I 42,5Н – 4755; микрокремнезем МК-530; Хидетал ГП-9 гамма – 42,28; песок – 10570; В/Ц=0,3; вода – 1586. Образцы до испытаний выдерживались 28 суток при температуре 24 °С и влажности 90 %. Испытания проводились на сжатие при скорости нагружения 0,5 мм/мин, частоте измерений напряжений и деформаций 0,01 с. Перед разрушающими испытаниями на сжатие однородность образцов и рост прочности во времени проверялись на 20 образцах акустическими и склерометрическими методами. Графики изменения прочности и скорости прохождения звука в процессе твердения бетона приведены на рис. 2.

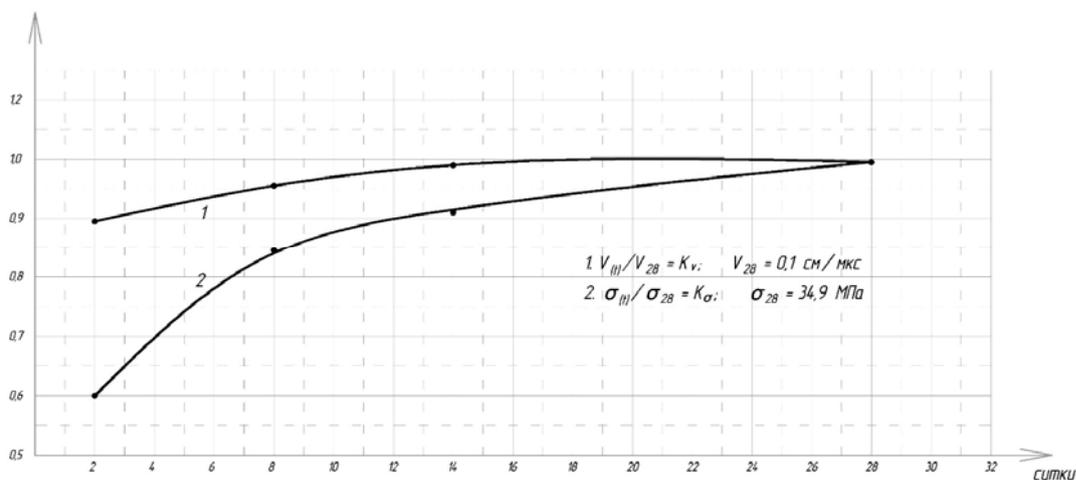


Рис. 2. Изменение скорости прохождения ультразвука и прочности для цементного композита

В процессе нагружения образцов для контроля за образованием и развитием трещин производились киносъемка и фотографирование с 10x увеличением боковой поверхности образца в области, прилегающей к искусственному дефекту. Трещины рисовались на фотографии и представлены на эскизе с нумерацией по порядку их появления (рис. 3). Метод оптической микроскопии для изучения эволюции трещин в бетоне применяется и описан в работе F. Slate. Бетонные образцы нагружались до определенного уровня, затем разгружались, выпиливались шлифы толщиной 3,8 мм и исследовались методами рентгенографии и оптической микроскопии [6].

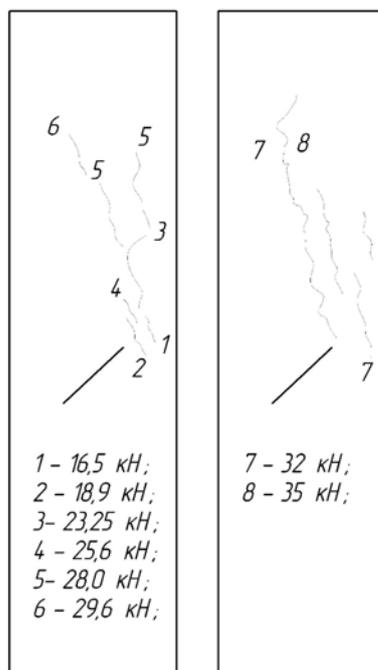


Рис. 3. Развитие трещин с повышением уровня нагрузки

В предлагаемой работе методами оптической микроскопии изучалось развитие трещин в динамике на поверхности образцов. Установлено визуально появление первых трещин на поверхности боковой грани призмы при нагрузке ($0,5 \div 0,6$) от разрушающей. Первые трещины появились рядом с искусственным дефектом. Повышение уровня нагрузки сопровождалось образованием новых микротрещин, которые разуплотняли, разупрочняли бетон в области, близкой к устью трещины. В конечном счете при нагрузке ($0,8 \div 0,9$) от разрушающей сформировалась магистральная трещина с началом из устья искусственной трещины. При этом после раскрытия магистральной трещины ряд микротрещин, образовавшихся при более низких уровнях усилия, закрылись, стали невидимыми при принимаемом масштабе увеличения. В данном эксперименте подтвердилась вторая гипотеза.

Анализ диаграмм деформирования, записанных в непрерывном режиме нагружения, подтверждает выводы о наличии при сжатии бетона двух конкурирующих процессов: уплотнения и разуплотнения структуры.

На рис. 4 представлены диаграммы деформирования при сжатии призм $40 \times 40 \times 160$ мм (образцы 11, 12 – с дефектом, 15 – без дефекта). Совместный анализ диаграмм деформирования и фотографии боковой поверхности призм показывает, что зарождение первых трещин на поверхности бетона происходит при нагрузках, соответствующих 20-30 % от предела прочности при сжатии. На диаграммах деформирования этому уровню нагружений соответствует первая точка перегиба в начале восходящего участка диаграммы « σ – ϵ ». Первая точка перегиба свидетельствует о завершении первого этапа эволюции структуры – этапа уплотнения. На втором этапе происходит уплотнение структуры бетона, возникают зоны концентрации напряжений и первые микротрещины, которые располагаются в объеме, отдаленном от искусственного дефекта. Наблюдается рост объема микротрещин, и формируется магистральная трещина, которая является продолжением искусственного дефекта. Формирование магистральной трещины происходит при уровне напряжений $(0,7-0,9)\sigma_{\text{вт}}$ (конкретно по образцам: 11 – 0,8; 12 – 0,9). Третий этап завершается разрушением структуры бетона, но, как это следует из диаграмм « σ – ϵ », некоторые структурные элементы еще способны оказывать сопротивление действующей нагрузке.

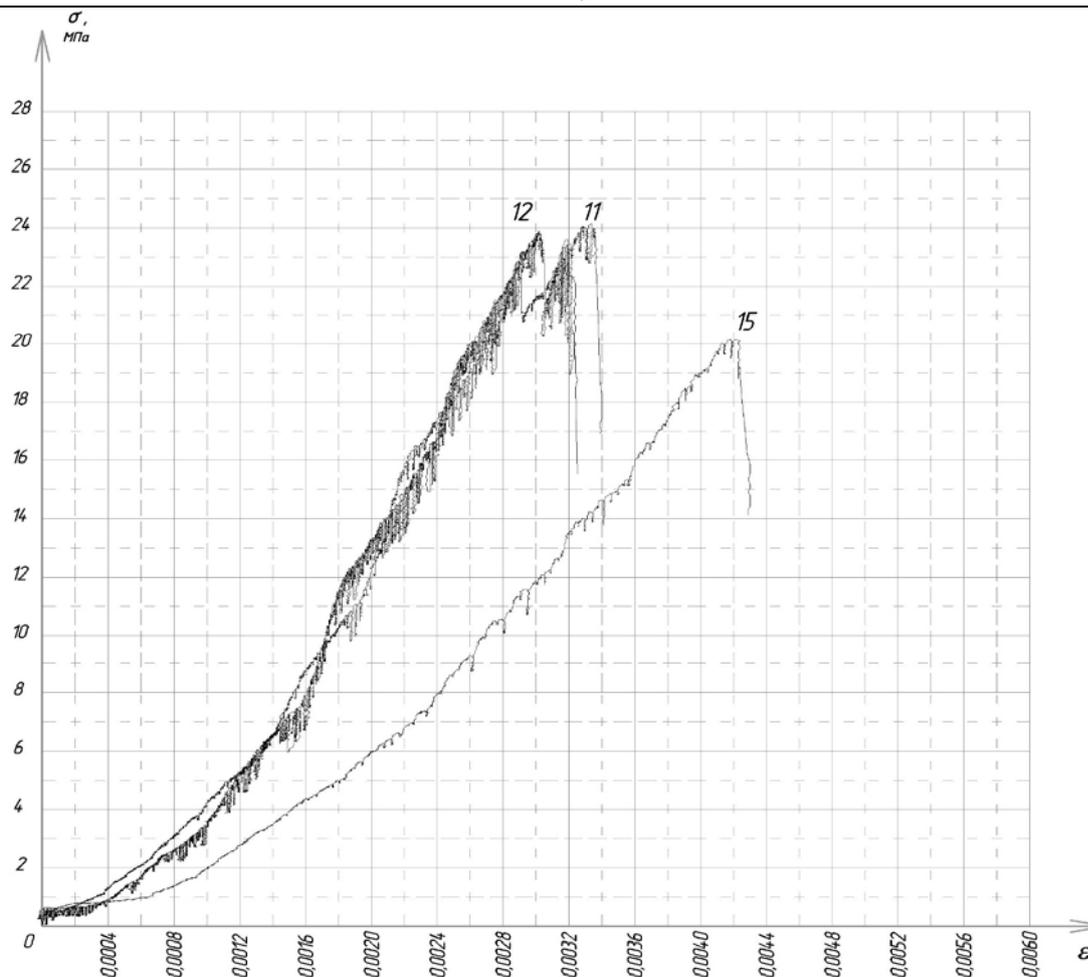


Рис. 4. Диаграммы деформирования при сжатии призм 40x40x160 мм:
№11, 12 – с дефектом; 15 – без дефекта

В работе П. Бернарда [8] отмечалось, что первые трещины в структуре бетона всегда расположены вертикально. Однако в наших исследованиях первые оптически контролируемые трещины располагались под углом, близким к 45° , по отношению к силовым линиям. При увеличении фрагмента поверхности бетона отчетливо видно, что трещины, как правило, имеют ломаное очертание по длине, что связано с неоднородностью структуры бетона и дискретно-непрерывным характером роста трещин в процессе нагружения. Следуя гипотезе о фрактальности строения структуры бетона [3], можно предполагать, что очертания «берегов» трещины по длине имеют фрактальную структуру. Тогда истинная длина L трещины будет определяться функцией вида:

$$L = R\alpha^{1-D},$$

где R – расстояние между концами трещины по прямой; α – масштаб измерения; D – фрактальная размерность.

Фрактальный анализ трещин показал, что для первой трещины ($R = 95$ мм, значение α принималось равным 2 мм, 5 мм) $D = 1,075$; для второй трещины ($R = 90$ мм; $\alpha = 2$; 5 мм) $D = 1,08$. Фрактальная размерность очертания трещины подтверждает гипотезу о том, что структуру цементного композита можно рассматривать исходя из основных положений теории геометрических фрактальных систем. Этот подход открывает возможность количественно описать сложную, многокомпонентную, многофазную систему структуры бетона.

Список литературы

1. Берг, О.Я. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко. – М.: Стройиздат, 1981. – 208 с.
2. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М.:Стройиздат, 1981. – 464 с.
3. Селяев, В.П. Эволюция прочности бетона. От простого к сложному / В.П. Селяев, П.В. Селяев, Е.Л. Кечуткина // Строительные материалы. – 2016. – №12. – С. 70–80.
4. Dargaard Jensen A. and Chatterji. State of the art report on micro-chacking and Lifetime Performance of Concrete, RILEM // Materials and Structures. – January – Februar. 1996. V.29. –P. 3–8.
5. Bascoul, A. State of the art report – Part2: Mechanical microcracking of concrete / A. Bascoul // TC-122-MLC: Micro-cracking and Lifetime Performance of Concrete, RILEM / Materials and Structures. – March, 1996. – V.29. – P. 67–78.
6. State, F.O. Rays for Study of internal Structure and Microcracking of concrete / F.O. State, S.X. Olsefski. – JACI. May 1963. – V.60. №5 – P. 575–587.
7. Зиновьев, В.Н. Классификация микротрещин и границы их проявления в бетоне при сжатии. Часть 4-1 / В.Н. Зиновьев, Д.В. Романовский, Р.А. Шувалов // Бетон и железобетон. – 2015. – №4. – С.26–31.
8. Barnard, P.R. Researches into the complete stress-strain curve for concrete / P.R. Barnard // Magazine of Concrete Research. – Dec. 1964. – Vol.16 – №49. – P. 203–210.

References

1. Berg, O.Ya. High-strength concrete / O.Ya. Berg, E.N. Shcherbakov, G.I. Pisanko. – М.: Stroyizdat, 1971. – 208 p.
2. Akhverdov, I.N. Fundamentals of physics concrete / I.N. Akhverdov. – М.: Stroyizdat. 1981. – 464 p.
3. Selyaev, V.P. Evolution of the Theory of Concrete Strength. From Simple to Complex / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, E.L. Kechutkina // Building materials. – 2016. – №12. – P.70–80.
4. Dargaard Jensen A. and Chatterji. State of the art report on micro-chacking and Lifetime Performance of Concrete, RILEM // Materials and Structures. – January – Februar. 1996. V.29. – P 3–8.
5. Bascoul, A. State of the art report – Part2: Mechanical microcracking of concrete / A. Bascoul // TC-122-MLC: Micro-cracking and Lifetime Performance of Concrete, RILEM / Materials and Structures. – March, 1996. – V.29. – P. 67–78.
6. State, F.O. Rays for Study of internal Structure and Microcracking of concrete / F.O. State, S.X. Olsefski. – JACI. May 1963. – V.60, №5. – P. 575–587.
7. Zinovev? V.N. Classification of microcracks and boundaries of their manifestation in concrete under compression. Chast' 4 / V.N. Zinovev, D.V., Romanovskiy R.A. Shuvalov // Beton i zhelezobeton. – 2015. – №4. – P.26–1.
8. Barnard, P.R. Researches into the complete stress-strain curve for concrete / P.R. Barnard // Magazine of Concrete Research. – Dec. 1964. – Vol.16 – №49. – P. 203–210.

УДК 624.04:69(083.75)

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*Россия, 440028, г. Пенза,
ул. Германа Титова, д.28,
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77**Шеин Александр Иванович**,
доктор технических наук, профессор
E-mail: shein-ai@yandex.ru**Зайцев Михаил Борисович**,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Механика»**Зернов Владимир Викторович**,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Механика»**Зернов Илья Владимирович**,
студент*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**Zaytsev Mihail Borisovich**,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department "Mechanics"**Zernov Vladimir Victorovich**,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department "Mechanics"**Zernov Ilya Vladimirovich**,
Student

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ И РЕГЛАМЕНТЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ НАДЁЖНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

А.И. Шеин, М.Б. Зайцев, В.В. Зернов, И.В. Зернов

Приводится анализ влияния ошибок при проектировании, изготовлении, возведении и на стадии эксплуатации строительных конструкций на надежность зданий и сооружений в течение их жизненного цикла.

Показано, что для обеспечения надежности строительных конструкций необходимо упорядочить сроки плановых обследований с целью устранения диспозитивного характера нормативных документов. Это позволит значительно сократить затраты на мероприятия по устранению выявленных ошибок

Ключевые слова: строительные конструкции, проектирование, обследование, мониторинг, деградация свойств материалов, долговечность, техническое состояние, надежность, отказ, диспозитивный характер

LEGAL DOCUMENTS AND REGULATIONS IN ENSURING RELIABILITY OF BUILDINGS AND STRUCTURES

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

To article analyses the influence of errors in designing, manufacturing, erection and maintenance of building structures on the reliability of buildings and structures throughout their life cycle.

It is shown that to ensure the reliability of structures it is necessary to arrange the timing of planned surveys with the aim of eliminating the discretionary nature of regulatory documents. This will greatly reduce the cost of measures on elimination of detected errors

Keywords: building construction, design, inspection, monitoring, degradation of material properties, durability, maintenance, reliability, failure, dispositive

Известно, что надёжность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надёжность является комплексным свойством, которое, в зависимости от назначения объекта и условий его применения, может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и

сохраняемость или определённые сочетания этих свойств. Поставим задачу оценить значение нормативных документов в обеспечении надежности зданий и сооружений.

Жизненный цикл зданий и сооружений можно разделить на четыре временных периода: 1 – период проектирования и строительства; 2 – период приработки (усадка, температурные деформации и т.д.); 3 – период нормальной эксплуатации; 4 – период интенсивного физического износа. Этот цикл сопровождается контролем качества проектной продукции, производимых материалов, изделий, конструкций, а также работ, выполняемых при возведении зданий и сооружений. Этот контроль направлен на обеспечение показателей качества, регламентируемых нормами и правилами проектирования и строительства, стандартами, техническими регламентами.

Контролю подлежат материалы, изделия и конструкции на всех этапах их создания и применения, а именно: при разработке проектов и выполнении изыскательских работ; при изготовлении материалов, изделий и конструкций; на стадии возведения строительных объектов и в период их эксплуатации и ремонта.

На стадии проектирования предусматривается проверка соответствия:

– требований и условий, принятых при проектировании, действующим нормам;

– чертежей и другой проектной документации результатам расчёта и требованиям норм.

Оценка качества материалов, изделий и конструкций проводится в рамках системы сертификации, предусмотренной действующим законодательством. Контроль качества строительно-монтажных работ при возведении и реконструкции зданий и сооружений – в соответствии с положениями государственного строительного надзора.

Контроль за выполнением условий эксплуатации строительных объектов осуществляется на основе действующих технических регламентов и стандартов.

По данным института ЦНИИЭП жилища, период приработки сооружения под полезную нагрузку длится 1,5–2 года после ввода сооружения в эксплуатацию. В этот период сказываются все ошибки проектирования и несоблюдение технологии в период строительства. Вероятность скрытых и конструктивных отказов (ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения) в этот период резко возрастает. За отказы периода приработки ответственность несут проектировщики и строители. Такие ошибки проектирования и нарушения технологии строительства авторы обнаружили при обследовании жилых зданий в г. Заречном, Пензенской области, при вскрытии кровельного ковра [1, 2], который ремонтировался путём наплавления новых материалов на старую кровлю (см. рисунок).



Вскрытие кровельного ковра

После приработки под полезную нагрузку сооружение вступает в период нормальной эксплуатации. При соблюдении эксплуатационных требований в этот период вероятность отказов, как правило, небольшая. Отказы периода нормальной эксплуатации происходят исключительно по вине эксплуатирующих организаций, не соблюдающих требования по технической эксплуатации зданий и сооружений.

Многочисленные данные длительных наблюдений института ЦНИИЭП жилища позволили установить, что на период эксплуатации приходится 22 % всех аварий и разрушений жилых зданий. В том числе во время первого года эксплуатации, в период приработки – 9 %, до 15 лет – 7 %, свыше 15 лет – 6 %; на период после капитального ремонта – 3 %. (Первый межремонтный срок, т.е. срок между капитальными ремонтами, начинается с момента ввода зданий и сооружений в эксплуатацию. Для всех групп капитальности этот срок обычно принимается в 25 лет, различаются лишь составы ремонтных работ для разных типов зданий.)

За 15-20 лет до наступления предельного срока нормативной долговечности здания и сооружения вступают в свой последний период жизни – период интенсивного физического износа. В силу большого физического износа конструкций вероятность эксплуатационных и деградационных отказов в этот период очень велика. Ремонтно-восстановительные мероприятия в период интенсивного физического износа, как правило, прекращаются, сооружение готовится к сносу и утилизации (ресурсный отказ). Какие-либо реконструкционные мероприятия проводятся ближе к середине периода нормальной эксплуатации.

Уменьшить вероятность появления некоторых отказов в период эксплуатации зданий и сооружений можно, если выполнять требования нормативно-правовых документов и регламентов, а некоторые пункты этих документов изменить, так как, на наш взгляд, они носят диспозитивный характер [4,5].

Так, «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (Федеральный закон от 30 декабря 2009 г., N 384-ФЗ) требует обеспечивать безопасность зданий в процессе их эксплуатации, в том числе и посредством мониторинга состояния строительных конструкций. Например, в статье 36 «Требования к обеспечению безопасности зданий и сооружений в процессе эксплуатации» этого закона указывается:

1. Безопасность здания или сооружения в процессе эксплуатации должна обеспечиваться посредством технического обслуживания, периодических осмотров и контрольных проверок и (или) мониторинга состояния основания, строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения, а также посредством текущих ремонтов здания или сооружения.

2. Параметры и другие характеристики строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения в процессе эксплуатации здания или сооружения должны соответствовать требованиям проектной документации. Указанное соответствие должно поддерживаться посредством технического обслуживания и подтверждаться в ходе периодических осмотров и контрольных проверок и (или) мониторинга состояния основания, строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения, проводимых в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Как видно, конкретные сроки здесь не оговорены.

В ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» в двух последующих пунктах читаем:

4.3. Первое обследование технического состояния зданий и сооружений проводится не позднее чем через два года после их ввода в эксплуатацию. В дальнейшем обследование технического состояния зданий и сооружений проводится не реже одного раза в 10 лет и не реже одного раза в пять лет для зданий и сооружений или их отдельных элементов, работающих в неблагоприятных условиях (агрессивные среды, вибрации, повышенная влажность, сейсмичность района 7 баллов и более и др.). Для уникальных зданий и сооружений устанавливается постоянный режим мониторинга.

4.4. Обследование и мониторинг технического состояния зданий и сооружений проводят также:

– по истечении нормативных сроков эксплуатации зданий и сооружений;

- при обнаружении значительных дефектов, повреждений и деформаций в процессе технического обслуживания, осуществляемого собственником здания (сооружения);
- по результатам последствий пожаров, стихийных бедствий, аварий, связанных с разрушением здания (сооружения);
- по инициативе собственника объекта;
- при изменении технологического назначения здания (сооружения);
- по предписанию органов, уполномоченных на ведение государственного строительного надзора.

Очевидно, что указанные пункты носят диспозитивный характер, так как допускают различные сроки проведения обследования и мониторинга зданий и сооружений. На практике обследования зданий и сооружений проводятся по инициативе собственника объекта именно в период интенсивного физического износа, когда разрабатывать мероприятия для обеспечения работоспособного состояния здания весьма затруднительно и бесполезно. Причём в договорах на проведение обследования и оценки несущей способности строительных конструкций практически всегда заказчик исключает пункт о мониторинге технического состояния. Следует установить императивную норму, в которой будут установлены строго определённые обязательные сроки обследования технического состояния зданий и сооружений. Так, для жилых зданий периодичность обследований можно установить, например, по наименьшему сроку службы элементов покрытий – 5–8 лет. Если бы в начале эксплуатации зданий, которые, например, обследовали авторы [1–3], проводились плановые обследования и качественный ремонт кровли, то обязательно были бы выявлены и устранены конструктивные ошибки, значительно уменьшена деградация свойств строительных материалов, проведены необходимые мероприятия по усилению строительных конструкций с гораздо меньшими затратами, чем в момент наступления аварийной ситуации. К тому же «Положение по техническому обследованию жилых зданий» (утв. приказом Госстроя СССР от 6 июля 1988 г., N 191) предписывает, что при обнаружении во время осмотров повреждений конструкций, которые могут привести к снижению несущей способности и устойчивости, обрушению отдельных конструкций или серьёзному нарушению нормальной работы оборудования, жилищно-эксплуатационная организация должна принять меры по обеспечению безопасности людей и приостановлению дальнейшего развития повреждений. Об аварийном состоянии здания или его элементов следует немедленно сообщить в вышестоящую организацию. Как видно, для обеспечения надёжности строительных конструкций целесообразно принять законодательство, регламентирующее порядок и сроки плановых обследований эксплуатируемых промышленных, многоэтажных жилых, административных, образовательных и медицинских зданий.

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. – Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – 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. – С.64–71.
4. Зернов, И.В. Правовая политика: понятие, формы осуществления, перспективные направления реализации / И.В. Зернов // Современное российское право: пробелы,

пути совершенствования: сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2015. – С. 41–45.

5. Зернов, И.В. Государственно-правовые гарантии и регламентация принципа единства экономического пространства / И.В. Зернов, А.В. Митрофанов // Вестник Пензенского государственного университета. – 2015. – № 2 (10). – С. 59–63.

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. Recovery of reinforced concrete curtain panels in flat roofs / A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaitsev // Modeling and mechanics of structures. – 2016. – No. 4. – Systems. requirements: – Adobe Acrobat Reader. – 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 design and operational failures on the durability of building structures / A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaitsev // Regional architecture and construction. – 2017. – No. 2. – P. 64–71.

4. Zernov, I.V. Legal policy: concept, forms of implementation, promising directions of implementation / I.V. Zernov // Modern Russian law: gaps and ways of improvement: collection of articles of the VIII Intern. scientific. scient. Conf. – Penza, 2015. – P. 41–45.

5. Zernov, I.V. State – legal guarantees and regulation of the principle of unity of economic space / I.V. Zernov, A.V. Mitrofanov // Bulletin of Penza state University. – 2015. – № 2 (10). – P. 59–63.

УДК 69.022/ 025:621.186.4

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

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 Aleksandr Markovich,

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

Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich,

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

ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОЕ СОСТОЯНИЕ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВЛАГИ И АГРЕССИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ СРЕДЫ

А.М. Береговой, В.А. Береговой

Изучен механизм взаимосвязанного влияния на теплопроводность материала наружного ограждения его влажностного состояния и агрессивной среды в условиях фазовых переходов влаги. Определены коэффициенты теплопроводности материала конструкции в зонах сверхсорбционного увлажнения, промерзания и присутствия гигроскопической соли. Путем рассмотрения влажной и мерзлой зон наружного ограждения как отдельных слоев найдены их термические сопротивления. На примерах конструктивных решений стен дана приближенная оценка величин тепловых потерь по сравнению с общепринятой методикой расчета.

Ключевые слова: наружное ограждение, температурно-влажностное состояние, фазовые переходы влаги, агрессивные воздействия среды, тепловые потери

TEMPERATURE-MOISTURE STATE OF EXTERNAL ENCLOSURE STRUCTURES IN THE CONDITIONS OF PHASE TRANSITIONS OF MOISTURE AND AGGRESSIVE IMPACT OF THE ENVIRONMENT

A. M. Beregovoy, V. A. Beregovoy

The mechanism of the interconnected influence on the thermal conductivity of the material of the external enclosure structures of its moisture state and the aggressive environment under the conditions of phase transitions of moisture is considered. The coefficients of thermal conductivity of the construction material are determined in the zones of supersorption wetting, freezing and the presence of hygroscopic salt. By considering the wet and frozen zones of the external enclosure structures as separate layers, their thermal resistances are found.

On the examples of constructive solutions of walls, the approximate estimate of the values of heat losses is given in comparison with the generally accepted calculation technique.

Keywords: external enclosure structures, temperature-moisture state, phase transitions of moisture, aggressive impact of the environment, heat losses

Одна из причин преждевременных разрушений ограждающих конструкций и повышенных тепловых потерь состоит в том, что их проектирование выполняется без учета взаимосвязанного влияния на их состояние температурно-влажностного режима и агрессивной среды. Процессы теплопереноса через такие конструкции в условиях значительных колебаний температуры наружного воздуха носят сложный характер из-за фазовых переходов влаги и присутствия гигроскопических солей.

Экспериментальные исследования, проведенные авторами в МИСИ им. В.В. Куйбышева (МГСУ), показали, что влажность ограждающих конструкций в значительной мере зависит от количества присутствующей в их материале гигроскопической соли. Оценка влажностного состояния проводилась на примере азотнокислой соли $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. При небольших количествах соли (до $0,02 \text{ мг/см}^2$) влажность у испытываемых образцов в большинстве случаев была меньше, чем у контрольных образцов, не подвергавшихся агрессивным воздействиям. Однако с ростом засоленности материала ограждения наблюдался значительный рост его влажности. По результатам испытаний в климатической камере при отрицательных температурах в присутствии 10 мг гигроскопической соли на 1 см^2 поверхности ограждения влажность целого ряда неорганических строительных материалов увеличилась в $1,27 \dots 2$ раза. В этих исследованиях на основании понятия критической относительной влажности было установлено, что влажность материала наружных ограждений возрастает в присутствии таких гигроскопических солей, как $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaNO_3 , KNO_3 , NaCl , KCl , $\text{NaBr} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Чрезмерная увлажненность сильно засоленного материала ограждения приводит к повышению его коэффициента теплопроводности, который по результатам измерений увеличивался в среднем в $1,15$ раза.

Задача проведенного исследования состояла в приближенной оценке теплопроводности материала наружного ограждения в условиях фазовых переходов влаги и агрессивных воздействий среды.

Тепло- и массоперенос в однослойном наружном ограждении при отрицательной температуре, отсутствии фильтрационного движения, по Лыкову А.В., описывается уравнениями

$$c \cdot \gamma_0 \cdot \frac{\partial t}{\partial z} = \text{div}(\lambda \cdot \nabla t) + \frac{\xi_{\text{пл}}}{1 - \xi_{\text{пл}}} \cdot r \cdot \gamma_0 \cdot \frac{\partial u_{\text{ж}}}{\partial z}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \text{div}(a_m \cdot \nabla u_{\text{ж}} + a_m \cdot \delta \cdot \nabla t), \quad (2)$$

где $\nabla u_{\text{ж}}$ – градиент влагосодержания; ∇t – градиент температуры; a_m – коэффициент теплопроводности суммарного переноса пара и жидкости; δ – суммарный термоградиентный коэффициент.

Значение коэффициента теплопроводности материала на границе промерзания конструкции может быть определено из уравнения Богословского В.Н.

$$r \cdot i \cdot u_{\text{ж}} \cdot \gamma_0 \cdot \frac{d\delta_3}{dz} = \lambda_3 \cdot \frac{\partial t_3}{\partial x} - \lambda_{\text{в}} \cdot \frac{\partial t_{\text{в}}}{\partial x}, \quad (3)$$

которое для условий стационарной теплопередачи приобретает вид

$$\lambda_3 \cdot \frac{t_3 - t_{\text{н}}}{\delta_3} - \lambda_{\text{в}} \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_3}{\delta - \delta_3} = 0. \quad (4)$$

Так как решение практических задач о теплопередаче с учетом фазовых превращений влаги в присутствии гигроскопической соли представляет определенную сложность, была рассмотрена более простая модель, основанная на результатах работы [1], учитывающая только промерзание части слоя увлажненного ограждения и позво-

ляющая оценить величину тепловых потерь через такую конструкцию. При этом приняты следующие допущения:

1. На наружную ограждающую конструкцию воздействует внутренняя агрессивная среда, приводящая к образованию гигроскопических солей в материале слоя, примыкающего к этой среде.

2. Гигроскопические соли равномерно распределены по всей толщине конструктивного слоя из неоднородного материала.

3. Материал конструкции находится в стадии сверхсорбционного увлажнения.

4. С наступлением долговременного периода сильного похолодания температура на наружной поверхности ограждения понизилась до постоянной отрицательной величины $t_n = \text{const}$.

5. В толще ограждения на подвижной границе промерзания сохраняется температура начала промерзания влаги t_3 .

6. В мерзлой и во влажной зонах ограждения температура изменяется по линейному закону.

В обычных условиях эксплуатации капиллярно-пористая структура материала содержит свободную влагу, температура замерзания t_3 , которой колеблется в пределах $-1 \dots -3$ °С. Однако в присутствии гигроскопических солей значение t_3 заметно снижается в зависимости от содержания соли в растворе. В табл.1 показана эта зависимость для CaCl_2 [2].

Т а б л и ц а 1

Содержание соли в растворе, %	0,1	2,5	4,8	7,1	9,4	11,5	13,7
Температура начала замерзания t_3 , °С	0	-1,2	-2,4	-3,7	-5,2	-7,1	-9,1

Приближенная оценка величин сопротивлений теплопередаче нескольких конструктивных схем наружных ограждений, показанных в табл. 2, и тепловых потерь через них рассмотрена на следующем примере.

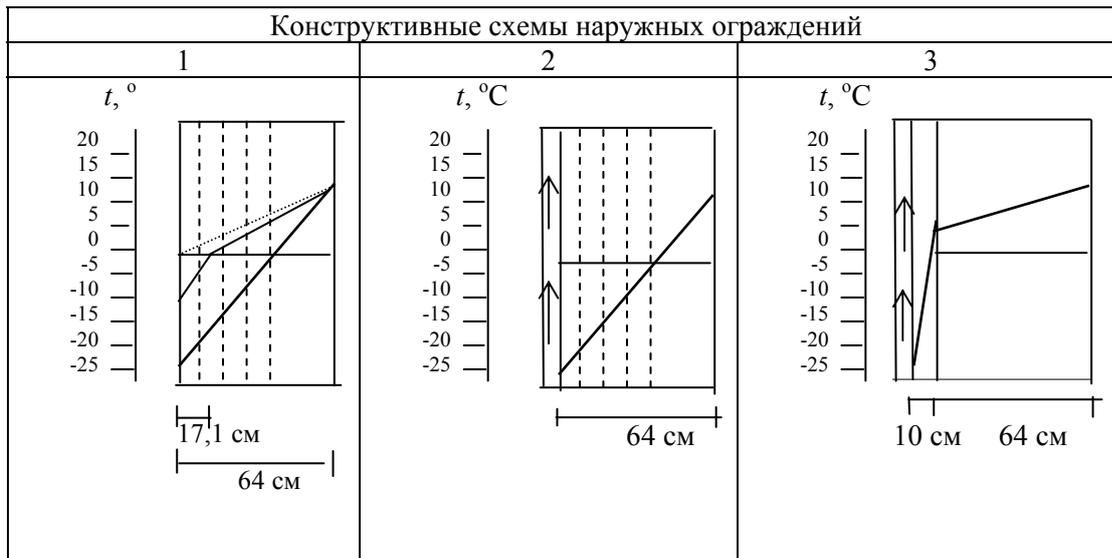
Основной материал стены – кладка из глиняного обыкновенного кирпича толщиной $\delta = 0,64$ м по схеме 1 (без учета внутреннего слоя штукатурки). На схеме 2 показана та же конструкция, имеющая вентилируемую воздушную прослойку с экраном на отnose. Схема 3 дополнена наружным слоем теплоизоляции из пенополистирола плотностью 100 кг/м^3 и толщиной $0,1$ м.

В качестве гигроскопической соли выбран хлористый кальций CaCl_2 , который впоследствии в капиллярах и порах материала трансформируется в кристаллогидрат $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Величина температуры замерзания раствора этой соли в капиллярах материала принята равной $t_3 = -3,7$ °С при содержании соли $7,1$ % (см. табл.1), а наружной и внутренней сред $t_n = -25$ °С, $t_b = 20$ °С.

Максимально возможная глубина зоны промерзания стены для 1-й и 2-й схем по результатам расчета линии падения температуры по толщине стены принята равной $\delta_3 = 0,37$ м.

Для определения коэффициента теплопроводности материала конструкции по схеме 1 примем: в стадии сверхсорбционного увлажнения материала влажной зоны конструкции $\lambda_b = 0,94$ (по экспериментальным данным Богословского В.Н.), а для случая присутствия в слое конструкции гигроскопической соли $\lambda_c = K \cdot \lambda_b$, где K – коэффициент, учитывающий влияние гигроскопической соли на теплопроводность материала. С учетом результатов упомянутых исследований в МИСИ, примем $K = 1,15$, а $\lambda_c = 1,15 \cdot 0,94 = 1,08$.

Характеристика рассмотренных конструктивных схем наружных ограждений



Примечание. На схеме 1 ломаная линия показывает глубину промерзания $\delta_3 = 0,17$ м ограждающей конструкции при более высокой температуре наружного воздуха $t_n = -10^\circ\text{C}$.

Из уравнения (4) найдем коэффициент теплопроводности материала в зоне промерзания конструкции для рассматриваемых конструктивных схем.

Для конструкции по схеме 1

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_b(t_b - t_3) \cdot \delta_3}{(t_3 - t_n) \cdot (\delta - \delta_3)} = 9,47/5,75 = 1,65 \text{ Вт/(м}\cdot\text{C)}.$$

Для конструкции по схеме 2 величина λ_3 может измениться весьма незначительно по сравнению со схемой 1, так как, несмотря на осушающее воздействие вентилируемой воздушной прослойки, присутствие гигроскопической соли повышает влагосодержание материала конструкции.

Рассматривая мерзлую и влажную зоны наружного ограждения как отдельные слои, определим их термическое сопротивление R .

Тогда общее сопротивление теплопередаче R_0 , а также сопротивления теплопередаче промерзшей R_3 и влажной R_b зон в присутствии гигроскопической соли найдутся из уравнений

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_b} + R_3 + R_b + \frac{1}{\alpha_n},$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = 0,37/1,65 = 0,22 \text{ м}^2\cdot\text{C} / \text{Вт},$$

$$R_b = \frac{\delta - \delta_3}{\lambda_b} = 0,27/1,08 = 0,25 \text{ м}^2\cdot\text{C} / \text{Вт},$$

$$R_0 = 1/8,7 + 0,22 + 0,25 + 1/23 = 0,63 \text{ м}^2\cdot\text{C} / \text{Вт}.$$

Величина тепловых потерь через 1 м^2 данной конструкции при максимальной глубине зоны промерзания

$$Q = (t_b - t_n) / R_0 = 45/0,63 = 71,4 \text{ Вт}.$$

Для конструкции по схеме 2 получаем тот же результат.

Конструкция по схеме 3 имеет наружный слой теплоизоляции и вентилируемую воздушную прослойку с экраном на отnose, которые защищают материал стены (кирпичную кладку) от избыточного сорбционного увлажнения и промерзания, но не от воздействия внутренней агрессивной среды и образования кристаллогидратов в его структуре. С учетом этого

$$R_0 = 1/8,7 + 0,64/1,08 + 0,1/0,041 + 1/23 = 3,19 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт},$$

$$Q = 45/3,19 = 14,11 \text{ Вт}.$$

В табл. 3 показаны результаты расчета, а также значения величин R_0 и Q с учетом промерзания слоя материала стены и присутствия гигроскопической соли.

Т а б л и ц а 3

Результаты расчета величин R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ и Q , Вт, при максимальной глубине зоны промерзания ограждающей конструкции

Конструктивные схемы	С учетом промерзания [1]		С учетом промерзания и агрессивных воздействий		По требованиям норм [3]	
	R_0	Q	R_0	Q	R_0	Q
Схема 1	0,75	60	0,63	71,4	0,84	53,6
Схема 2	0,90	50	0,63	71,4	1,07	42,1
Схема 3	Промерзание отсутствует 3,51 12,8		Промерзание отсутствует 3,19 14,11		3,51	12,8

Рассмотренная расчетная модель при стационарных условиях теплопередачи и неизменном характере агрессивных воздействий среды дает приближенное представление о механизме тепломассопереноса через наружное ограждение. В реальных (нестационарных) условиях эксплуатации тепловая инерция конструкции будет обуславливать движущийся характер границы промерзания материала, а переход гигроскопической соли в ее разновидность, кристаллогидрат, – определенное изменение значений параметров t_3 , λ_3 , λ_v .

ВЫВОДЫ

Результаты расчета при принятых допущениях показывают:

1. Для первых двух конструктивных схем с учетом сверхсорбционного увлажнения и промерзания материала тепловые потери через эти конструкции оказываются больше нормативных значений в среднем на 11-12 %, а в присутствии гигроскопической соли – на 13-17 %.

На тепловые потери через конструкцию по схеме 3 влияет только присутствие гигроскопической соли, которая увеличивает их на 11 % по сравнению с нормами.

2. Удельная теплозащитная характеристика здания, непосредственно определяющая его класс энергетической эффективности, по сравнению с общепринятой методикой расчета, может получить заведомо заниженное значение в условиях твердого фазового состояния влаги и присутствия гигроскопических солей в структуре материала конструкции.

Список литературы

1. Влияние теплопроводности материала наружных ограждений в стадии увлажнения и промерзания на энергоэффективность зданий / А.В. Мальцев, А.М. Береговой, В.А. Береговой, М.А. Дерина // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №1. – С. 57–61.

2. Температура замерзания солевых растворов малой концентрации. – URL: <https://yandex.ru/images/search?text=%D1%82%D0%>. Дата обращения 15.06.17.

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

References

1. Influence of thermal conductivity of the material of external enclosure structures in the stage of moisture and freezing on energy efficiency in buildings / A.V. Maltsev, A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy, M.A. Derina //Regional architecture and engineering. – 2013. – No. 1. – P. 57–61.
2. Freezing point of salt solutions of low concentration. – URL: [https://yandex.ru/images/search?text= %D1 %82 %D0 %](https://yandex.ru/images/search?text=%D1%82%D0%). Date of access 15.06.17.
3. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Actualized edition of SNiP 23-02-2003. – M.: NIISF RAASN, 2012. – 95 p.

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

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

Болдырева Ольга Вячеславовна,
старший преподаватель 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

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

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

ПРОЧНОСТЬ СЖАТЫХ ПОЛОС БЕТОНА КОНСОЛЬНЫХ ОПОР РИГЕЛЕЙ С ПОДРЕЗКОЙ

В.А. Комаров, О.В. Болдырева

Проведён анализ существующих методов расчета прочности сжатых полос бетона балок с подрезками. Рассмотрены нормативные методы и методы расчета, основанные на стержневых аналоговых моделях, согласно которым прочность ригеля с подрезкой определяется прочностью сжатых полос, расположенных между грузовыми и опорными площадками. Выявленная специфика напряжённого состояния исследуемых ригелей согласуется с принципом моделирования сжатых полос бетона коротких балок. Анализ результатов физического и численного экспериментов позволяет усовершенствовать принятую нормативную методологию построения стержневой модели сжатой полосы бетона короткой консоли ригеля на основе новой оценки характера напряженного состояния и введения гипотез образования условных внутренних промежуточных опор. В качестве условных опор приняты узлы сопряжения продольной и поперечной замкнутой сосредоточенной арматуры, которые являются грузовыми площадками, они формируют полосы и способствуют концентрации главных сжимающих и касательных напряжений в пределах соответствующих наклонных полос бетона.

Ключевые слова: короткая консоль ригеля, физические и условные грузовые площадки, сжатые наклонные полосы бетона, стержневая аналоговая модель

STRENGTH OF COMPRESSED STRIPS OF CONCRETE CANTILEVER SUPPORTS OF GIRDERS WITH TRIMMING

V.A. Comarov, O.V. Boldyreva

The analysis of existing methods of calculation of compressed strips of short consoles concrete beams is carried out. Regulatory methods and methods of calculation, based on the core analog models, according to which the strength of the short console bolt (with trimming) is determined by the strength of compressed strips placed between the cargo and the reference sites are considered. The specificity of the stress state of the investigated girders is consistent with the principle of modeling compressed strips of concrete short beams. Analysis results of physical and numerical experiment allows to improve the adopted normative methodology for the rod model of a compressed strip short console bolt, based on a new assessment of the nature of the stress state and the introduction of the hypotheses of the formation of conditioned internal intermediate supports. As the example supports joints a pair of longitudinal and transverse closed-centered reinforcement, which are called contingent cargo platforms are taken. They form strips and contribute to the concentration of the main compressive shear stresses within the respective inclined strips of concrete.

Keywords: short console bolt (with trimming), physical cargo area, compressed incline stripe of concrete, the core of the analog model

Сборные межвидовые многоэтажные связевые каркасы предназначены для возведения торговых, общественных, производственных, а также жилых зданий с высотой этажа от 2,8 до 6 м с шагом колонн 6-9 м. В последние годы ведутся работы по совершенствованию конструктивных решений элементов каркаса, направленные на укрупнение модульной ячейки и повышение полезной нагрузки на перекрытия. Однако целый ряд проблем остаётся нерешённым. Одной из таких проблем является оценка прочности бетона сжатых полос консольных опор ригелей с подрезками.

В СП 52-101-2003 для расчёта сжатых полос бетона при действии поперечных сил принята эмпирическая зависимость расчёта прочности бетона в сжатой полосе между наклонными трещинами для изгибаемых элементов (балок). Опорная часть ригеля, образованная подрезкой, отличается от опорной части балки и представляет собой короткую консоль, соединённую с ригелем (балкой). Расчёт и конструирование коротких консолей в СП 52-101-2003 не включены.

Рекомендации по расчёту коротких консолей (колонн и балок) содержит ранее действующее пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжёлых и лёгких бетонов без предварительного напряжения арматуры. Поэтому проектирование коротких консолей балок в настоящее время можно выполнять по рекомендациям данного пособия.

При проектировании коротких консолей колонн и балок приняты единые положения расчёта наклонной сжатой полосы [2, п. 3.49, 3.99, 3.100].

Узлы сопряжения консольных опор ригелей с консолями колонн обеспечивают совместную работу несущих элементов и безопасность здания в целом.

Таким образом, проведение экспериментально-теоретических исследований по совершенствованию практического способа расчёта прочности бетона в сжатых полосах консольных опор ригелей многоэтажных каркасов массового использования является актуальной задачей.

В Пензенском государственном университете архитектуры и строительства проведены экспериментально-теоретические исследования прочности сжатых полос бетона над опорной площадкой коротких консолей ригелей по направлению жёстких узлов сопряжения замкнутой сосредоточенной поперечной арматуры, расположенной за подрезкой, с продольной арматурой ригеля. Экспериментально установлено, что формирование и разрушение сжатых полос бетона происходит при длине условных грузовых площадок $l_{sup,v} \geq 1/2 l_{sup,d}$.

Анализ результатов физического и численного экспериментов позволяет усовершенствовать нормативную стержневую модель сжатой полосы бетона короткой консоли ригеля на основе новой оценки характера напряжённого состояния и введения гипотезы образования условных внутренних промежуточных опор (жёсткие узлы сопряжения замкнутой сосредоточенной поперечной арматуры, расположенной за подрезкой, с продольной арматурой ригеля), которые являются грузовыми площадками, формирующими полосы бетона и способствующими концентрации главных сжимающих и касательных напряжений. Основной угол наклона главных сжимающих напряжений близок к углу наклона линии, соединяющей центр опорной реакции с точкой, проходящей через центр тяжести сосредоточенных замкнутых хомутов.

Таким образом, целесообразно в стержневой модели сжатой полосы бетона короткой консоли балки на сжатие, принятой ранее действующими СНиП, за основной угол наклона главных сжимающих напряжений принять угол θ наклона к горизонтали линии, соединяющей центр опорной площадки консоли с центром тяжести вертикальных хомутов, сосредоточенных у подрезки, на уровне верхней продольной арматуры ригеля, т.е.

$$\sin^2 \theta = \frac{(h_{01} - a')^2}{(h_{01} - a')^2 + (\ell_{sup} + a_x)}. \quad (1.1)$$

Сжатая бетонная полоса формируется между опорной и верхней условной грузовой площадками, поэтому границы расчетной полосы определяются линиями, соеди-

няющими внешние и внутренние границы опорной и условной грузовой площадок. Ось расчетной полосы проходит через центры опорной и условной грузовой площадок на уровне продольной арматуры ригеля и является параллельной основному направлению главных сжимающих напряжений. Ширина наклонной полосы определяется по перпендикуляру к расчетной оси. Предельное состояние полосы бетона наступает в сечениях с наименьшей прочностью, т.е. в расчётных сечениях. Наиболее опасной, или расчетной, зоной в бетонной полосе короткой консоли ригелей (с подрезкой) является её нижняя опорная зона. В этой зоне бетон испытывает продольное наклонное сжатие и поперечное растяжение. Следовательно, расчетное сечение располагается именно в нижней зоне полосы (рис. 1).

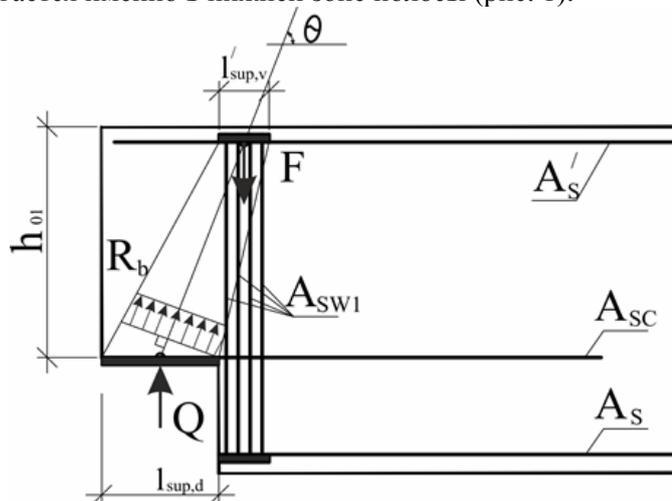


Рис. 1. Усовершенствованная стержневая модель сжатой полосы бетона короткой консоли ригеля

Прочность наклонной сжатой полосы бетона определяется по зависимости ранее действующего СНиП из условия

$$Q \leq R_b b \ell_{\text{sup}} \sin^2 \theta (1 + 5\alpha \mu_w), \quad (1.2)$$

в котором правая часть принимается не более $3,5R_b b h_0$ и не менее $2,5R_b b h_0$, где ℓ_{sup} – длина площадки опирания; θ – угол наклона расчётной сжатой полосы к горизонтали; μ_w – коэффициент армирования хомутами, расположенными по высоте консоли,

$$\mu_w = \frac{A_{sw}}{b \cdot s_w}; \quad (1.3)$$

s_w – расстояние между хомутами.

При построении стержневой модели сопротивления бетона срезу в сжатой полосе СМ-т принят принцип моделирования сопротивления срезу сжатой полосы-призмы [5]. Схема расчётной модели сопротивления бетона срезу сжатых полос консольных опор над опорной площадкой по направлению к условной грузовой площадке приведена на рис. 2. Модель СМ-т дополняется диагональными стержнями, имитирующими срез наклонной полосы. При этом упраздняются стержни, ранее входившие в СМ, имитирующие боковые грани полосы. Модель СМ-т образуется путём замены каждого наклонного стержня в модели СМ двумя наклонными X-образными стержнями, расположенными по направлению диагональных сечений среза сжатой бетонной полосы.

Сложная стержневая система состоит из симметрично расположенных относительно вертикальной оси ферменных аналогий сопротивления, в которых возникают растягивающие усилия среза S_τ .

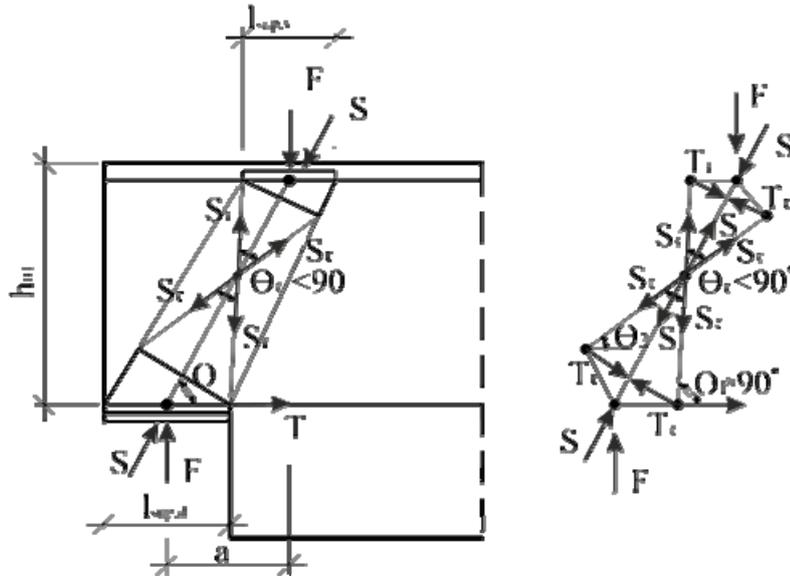


Рис. 2. Схема стержневой модели среза СМ- τ при оценке прочности бетона в сжатой полосе между опорной и грузовой условной площадками

В расчётных стержневых моделях прочности наклонных полос бетона определяются усилия сжатия S и усилия среза S_{τ} . Узлы сопряжения стержней принимаются шарнирными. Внешнее наклонное сжимающее усилие в моделях СМ- τ прикладывается в ключевой точке пересечения наклонных X-образных стержней, образующих две стержневые системы, которые имитируют клинья и уравнивают друг друга.

Усилия сжатия S определяются по зависимости

$$S = F \sin \theta. \quad (1.4)$$

Усилия S_{τ} в расчетной стержневой модели СМ- τ определяются по следующим зависимостям:

$$S_{\tau} = F / (2 \sin \theta \cos \theta_{\tau}), \quad (1.5)$$

где θ – угол наклона оси X-образных стержней, определяемый по зависимости

$$\operatorname{tg} \theta = h_{01} / (a - 0,5 l_{\text{sup},v}), \quad (1.6)$$

θ_{τ} – угол между стержнями, образующими X-образный элемент модели,

$$\theta_{\tau} = \theta_2 - \theta_1; \quad (1.7)$$

здесь θ_1, θ_2 – углы наклона соответствующих стержней X-образного элемента модели.

$$\operatorname{tg} \theta_2 = h_{01} / (a - 0,5 l_{\text{sup},v} - 0,5 l_{\text{sup},d}), \quad (1.8)$$

$$\operatorname{tg} \theta_1 = (h_{01} - \sin \theta \cos \theta (l_{\text{sup},v} + l_{\text{sup},d})) / (a - 0,5 l_{\text{sup},v} + l_{\text{sup},v} \sin^2 \theta + l_{\text{sup},d} - l_{\text{sup},d} \sin^2 \theta). \quad (1.9)$$

Расчет прочности сжатой полосы при срезе производится по следующим зависимостям:

$$S_{\tau} \leq R_{bt}^* b L \quad (1.10)$$

или

$$F \leq 2 R_{bt}^* b L \sin \theta \cos \theta_{\tau}, \quad (1.11)$$

где θ, θ_{τ} – углы наклона сечений среза, L – длина диагонального участка линии среза,

$$L = h_{01} / \sin \theta_2. \quad (1.12)$$

Здесь θ_2 – угол наклона сечения среза.

R_{bt}^* – прочность бетона при срезе с учетом влияния предельных напряжений,

$$R_{bt}^* = \gamma_\tau R_{bt}, \quad (1.13)$$

где γ_τ – коэффициент, определяемый на основании критерия прочности профессора А.А. Гвоздева.

Предельные касательные напряжения бетона сжатой полосы при срезе от совместного действия напряжений сжатия и среза равны:

$$\tau_{xy, \text{lim}} = \gamma_\tau R_{bt}, \quad (1.14)$$

где γ_τ – коэффициент, учитывающий влияние плоского напряжённого состояния предельных напряжений в зависимости от касательных τ и нормальных σ_x и σ_y напряжений.

Расчет прочности сжатых полос при совместном разрушении в результате сжатия и среза производится по следующим зависимостям:

$$S_\tau \leq R_{bt}^* b L; \quad (1.15)$$

$$S_b \leq \gamma_{\tau 1} R_b b l_b \quad (1.16)$$

или

$$F \leq 2 R_{bt}^* b L \sin\theta \cos\theta_\tau, \quad (1.17)$$

где l_b – ширина расчетной наклонной сжатой полосы бетона,

$$l_b = l_{\text{sup},v(d)} \sin\theta. \quad (1.18)$$

При оценке прочности бетона в наклонных сжатых полосах при одновременном использовании моделей сжатия и среза предлагается рассматривать модели, исходя из схемы разрушения между опорной и грузовой условной площадками.

Для оценки нормативных и предлагаемых аналоговых расчетных стержневых моделей бетонной полосы на сжатие и срез произведено сопоставление разрушающих нагрузок Q_{test} , полученных в опытах, и расчетных величин разрушающих нагрузок Q_{calc} (рис.3).

Результаты расчёта сжатой полосы короткой консоли ригеля показывают, что наиболее близкими по значению опытными разрушающим силам являются расчётные разрушающие силы, определённые по предлагаемым расчётным моделям на сжатие и срез. Зависимость СП 52-101-2003 хорошо согласуется с опытными данными при пролётах среза $0,9h_{01} \leq a \leq 1,5h_{01}$, среднее отклонение $F_{\text{test}}/F_{\text{calc}}$ составляет от 1,15 до 1,17.

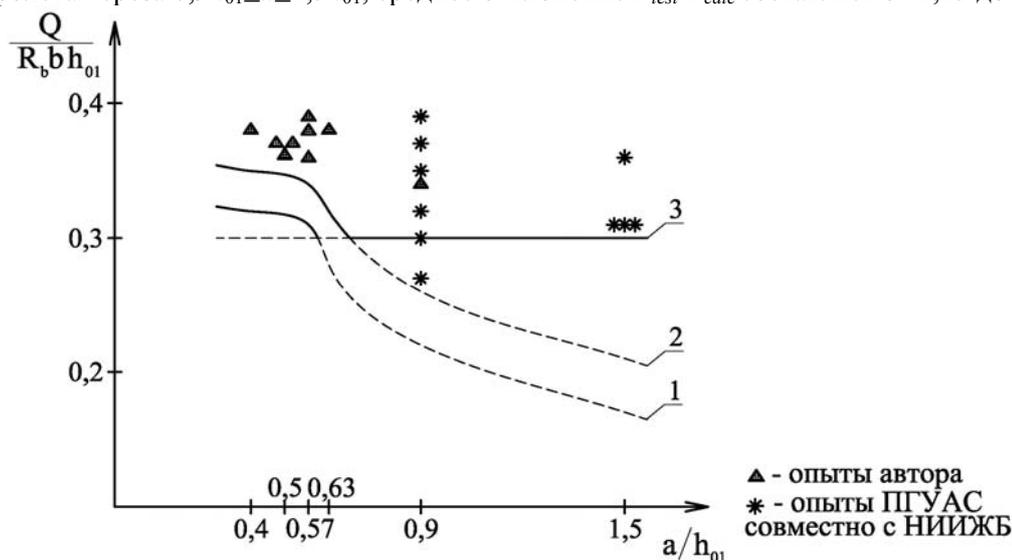


Рис.3. График сопоставления результатов расчета прочности сжатых полос бетона консольных опор ригелей на сжатие с опытными величинами:

1 – по нормативной модели ранее действующих норм; 2 – по усовершенствованной нормативной стержневой модели; 3 – по зависимости СП 52-101-2003

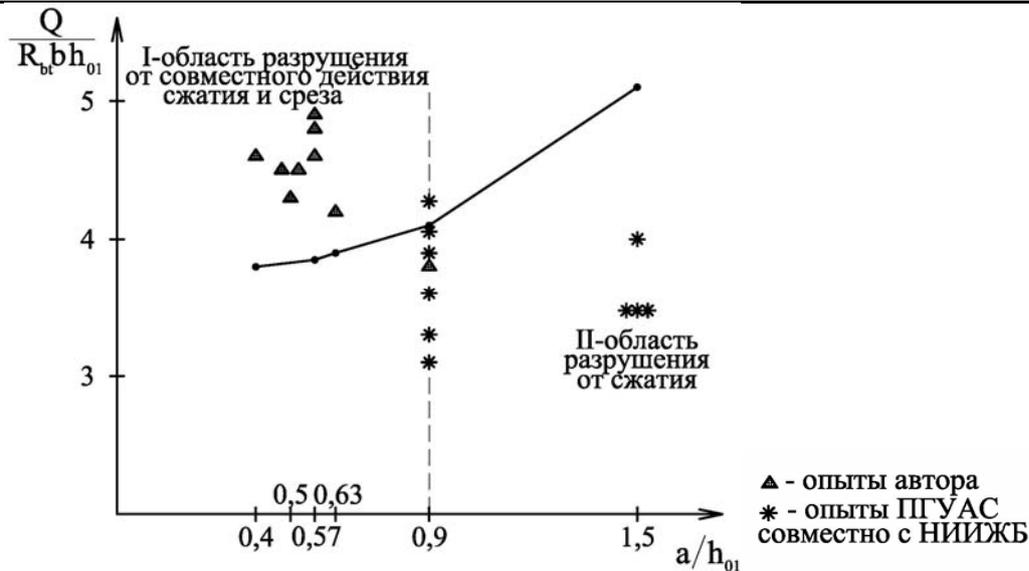


Рис. 4. График сопоставления результатов расчёта прочности сжатых полос бетона консольных опор ригелей сопротивления срезу с опытными величинами

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально установлено, что разрушение бетона в короткой консоли ригеля происходит в сжатых полосах бетона между опорной и условной грузовой площадками. В качестве условных грузовых площадок приняты жёсткие узлы сопряжения дополнительной сосредоточенной арматуры с продольной арматурой ригеля. Установлено, что формирование и разрушение сжатых полос бетона происходят при длине условных грузовых площадок $l_{sup,v} \geq 1/2 l_{sup,d}$.

2. Установлено, что прочность бетона в сжатых полосах короткой консоли ригеля определяется совместным действием главных сжимающих и касательных напряжений.

3. Усовершенствована методология построения стержневой модели короткой консоли ригеля, рекомендованная ранее действующими СНиП. Для оценки прочности бетона в сжатых полосах консольной опоры ригеля следует принять метод расчёта на основе стержневых моделей.

4. При проектировании ригелей с подрезкой необходимо производить самостоятельные расчёты бетонных полос на совместное действие сжатия и среза. При пролётах среза $a < 0,9h_{01}$ — на сжатие по зависимости (1.2) по усовершенствованной нормативной модели и предлагаемой модели на срез в результате сжатия и среза. При пролётах среза $0,9h_{01} \leq a \leq 1,5h_{01}$ — на сжатие по расчётной зависимости $Q \leq 0,3R_b b h_{01}$ СП 52-101-2003 (к СНиП 52-01-2003).

Список литературы

1. Комаров, В.А. Разрушение по сжатым полосам бетона консольных опор ригелей многоэтажных каркасов / В.А. Комаров, О.В. Болдырева // Бетон и железобетон. — 2015. — №3. — С.10–13.

2. Комаров, В.А. Оценка прочности бетона ригелей с подрезкой многоэтажных каркасов / В.А. Комаров, О.В. Болдырева // Строительная механика и расчёт сооружений. — 2016. — №4. — С.6–9.

3. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. — М.: НИИЖБ Госстроя России, 2004.

4. СП 52-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. — М., 2004.

5. Баранова, Т.И. Расчетные модели сопротивления срезу сжатых зон железобетонных конструкций / Т.И. Баранова. — Пенза: ПГУАС, 2005. — 250 с.

6. Баранова, Т.И. Каркасно-стержневые расчетные модели и инженерные методы расчета железобетонных конструкций / Т.И. Баранова, А.С. Залесов. – М.: АСВ, 2003.
7. Баранова, Т.И. Теория расчета железобетонных конструкций на основе аналоговых каркасно-стержневых моделей: научно-методическое пособие / Т.И. Баранова, Ю.П. Скачков. – М.: Спутник+, 2011. – 224 с.
8. Баранова, Т.И. Аналоговые каркасно-стержневые модели сопротивления несущих элементов каркасов многоэтажных зданий / Т.И. Баранова, В.А. Комаров, Э.В. Егинов. – М.: Спутник+, 2011. – 182 с.
9. Комаров, В.А. Экспериментальная теория сопротивления ригелей с подрезкой: монография / В.А. Комаров. – М.: Спутник+, 2013. – 199 с.

References

1. Komarov, V.A. the Destruction in compressed strips of concrete cantilever supports crossbars multi-storey frames / V.A. Komarov, O.V. Boldyrev // Concrete and reinforced concrete. – 2015. – No. 3. – P. 10–13.
2. Komarov, V.A. evaluation of the strength of concrete beams with trimming multi-storey frames / V.A. Komarov, O.V. Boldyrev // Construction mechanics and calculation of structures. – 2016. – No. 4. – P. 6–9.
3. SNiP 52-01–2003. Concrete and reinforced Concrete structures. The main provisions. – М.: НИИЖБ of Gosstroy of Russia, 2004.
4. SP 52-101–2003. A set of rules for design and construction. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing. – М., 2004.
5. Baranova, T.I. Computational model of resistance to shear of the compressed zones of reinforced concrete structures / T.I. Baranova. – Penza: PGWC, 2005. – 250 p.
6. Baranova, T.I. Frame-and-rod design model and engineering methods of calculation of reinforced concrete structures / T.I. Baranova, A.S. Zalesov. – М.: ASV, 2003.
7. Baranova, T.I. Theory of calculation of reinforced concrete structures based on an analog frame-and-rod models: scientific-methodical manual / T.I. Baranova, Y.P. Skachkov. – М.: Sputnik+, 2011. – 224 p.
8. Baranova, T.I. Analog frame-and-rod model, the resistance of load-bearing elements and design of buildings / T.I. Baranova, V.A. Komarov, E.V. Eginov. – М.: Sputnik+, 2011. – 182 p.
9. Komarov, V.A. Experimental theory of the resistance of girders with trimming: monograph / V.A. Komarov. – М.: Sputnik+, 2013. – 199 p.

УДК 624.072.33:692.292:621.882.4

*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**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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОГО КАРНИЗНОГО УЗЛА МАНСАРДНОЙ РАМЫ НА ВКЛЕЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ШАЙБАХ

В.М. Вдовин, В.Н. Карпов

Предлагается новое узловое соединение жесткого карнизного узла мансардной рамы с применением клеенных стальных шайб. Приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований этих узлов. Дается анализ экспериментальных данных работы карнизного узла.

Ключевые слова: мансардная рама, жесткий карнизный узел, стальная шайба, древесина

RESEARCH OF RIGID CORNICE JOINT OF A MANSARD FRAME ON GLUED STEEL WASHERS

V.M. Vdovin, V.N. Karpov

Proposed a new connection of rigid cornice joint of a mansard frame with glued steel washers. The results of experimental and theoretical studies of these joints are given. The analysis of the experimental data is presented.

Keywords: mansard frame, rigid cornice joint, steel washer, wood

В настоящее время изучается и обобщается опыт пилотных проектов реконструкции домов первых массовых серий с надстройкой мансард. Намечается перейти к массовой реконструкции и модернизации всего жилищного фонда, возведенного по типовым проектам первого поколения, и тем самым существенно пополнить жилищный фонд страны. При этом наиболее актуальным направлением является реконструкция жилых домов с надстройкой мансардных этажей. Для надстройки мансардных этажей рекомендуется выбирать легкие конструкции и материалы. В наилучшей степени этому отвечает древесина и конструкции из нее.

Мансардное строительство из штучных конструктивных элементов без отселения жильцов значительно увеличивает трудозатраты и продолжительность возведения. Увеличение темпов строительства может быть достигнуто за счет существенного повышения технологичности, улучшения конструктивных свойств элементов и сборности их за счет заводской готовности.

В качестве одной из попыток такого подхода предлагается выполнять каркасный вариант мансарды из деревянных рам. Рамы собираются из двух Г-образных элементов промышленного изготовления. Учитывая то, что пролеты мансардных рам обычно невелики (до 12 м), ригели и стойки таких рам рекомендуется выполнять из

цельных дощатых элементов, что упрощает их изготовление. Наиболее значимыми по сложности исполнения в таких рамах являются жесткие карнизные узлы. Ниже даются предложения по выполнению этого узла и приводятся результаты экспериментальных исследований.

Предложенная конструкция жесткого карнизного узла основана на применении клеенных стальных шайб [1]. Использование других видов механических связей – гвоздей, нагелей, гладких и зубчатых шпонок и др. – не эффективно из-за их ограниченной несущей способности и повышенной деформативности или сложности изготовления. Клеенные стальные шайбы, обладающие повышенной несущей способностью и малой деформативностью, позволяют выполнить жесткий карнизный узел при малом их количестве, что очень важно для мансардных рам, поскольку рамы изготавливаются из цельных дощатых элементов и на выполнение узла приходится незначительная площадь. Предлагаемый узел имеет лишь две стопки клеестальных шайб по две штуки в каждой стопке; общий вид узла приведен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид образца при испытании

С целью проверки действительной работы узла и оценки его прочности и деформативности проведены экспериментальные исследования. Испытанию подвергались два образца (рис. 2), выполненные из досок сечением 40×148 мм (средний элемент) и 32×148 мм (крайние элементы). Теоретические расчеты показали, что для полного восприятия возникающих в узле усилий M , N и Q , при условии выполнения соединения, равнопрочного цельному сечению элемента, достаточно поставить клеестальные шайбы $D_{ш} = 60$ мм, удаленные одна от другой по длине, большей диагонали ромба на 90 мм. При этом соблюдаются и необходимые шаги расстановки шайб в поперечном и продольном направлениях. Следует заметить, что в данном случае при достаточно сложном напряженном состоянии узла и опасности поперечного раскалывания элементов (от совместного действия напряжений скалывания вдоль волокон и разрыва поперек волокон древесины) необходимо принимать увеличенные размеры шага S_1^I от торца элемента до первого ряда шпонок, что и учтено в предлагаемой конструкции узла. Основные геометрические размеры испытанных образцов приведены на рис. 2.

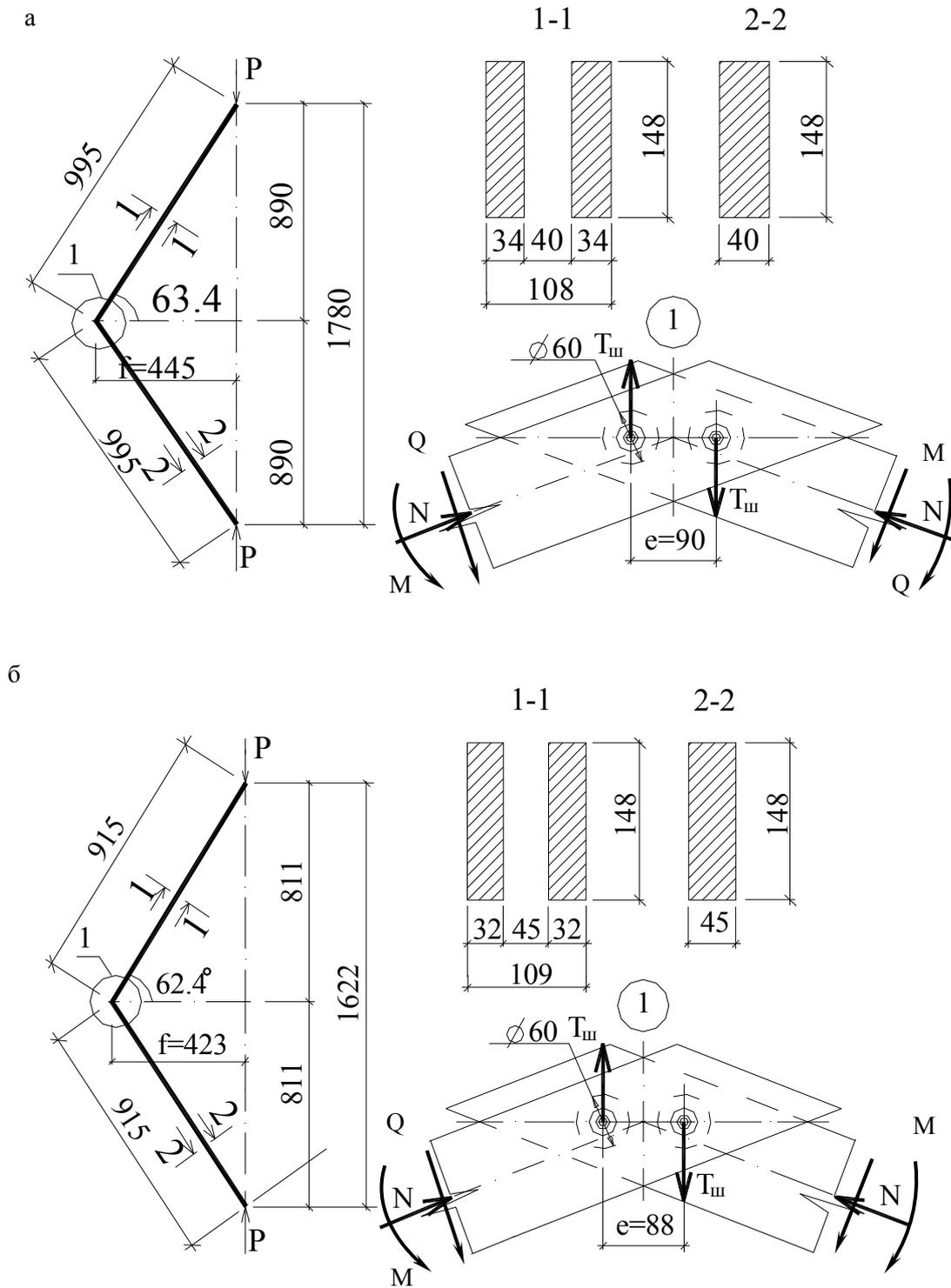


Рис. 2. Геометрические схемы образцов
 а – М-2,5ККШ-60-1Б; б – М-2,5ККШ-60-2Б

Для выбранных размеров образцов были выполнены необходимые теоретические расчеты согласно [1] по определению предельных расчетных усилий, возникающих в них при достижении предельного состояния, т.е. $\sigma = R$. Величины этих усилий приведены в табл. 1.

Расчетные усилия в образцах

Марка образца	Наименование элемента	Величины усилий при нагрузке							
		Длительно действующей				Кратковременной			
		P , кН	M , кН·м	N , кН	$T_{ш}$, кН	$P^{кр}$, кН	$M^{кр}$, кН·м	$N^{кр}$, кН	$T_{ш}^{кр}$, кН
М-2,5ККШ-60-1Б	Стойка	5,91	26300	5,27	29,2	8,82	39253	7,87	43,6
	Ригель	3,13	13929	2,79	15,5	4,67	20790	4,16	23,1
М-2,5ККШ-60-2Б	Стойка	5,61	23730	4,97	27,0	8,37	35418	7,42	40,3
	Ригель	3,58	15141	3,17	17,2	5,34	22602	4,73	25,7

Нагружение образца осуществлялось с помощью натяжной муфты, расположенной в общей системе затяжки узла. Величина нагрузки на образец, передаваемой затяжкой, фиксировалась динамометром, вмонтированным в затяжку. Шаг нагружения принимался равным 1 кН (100 кгс). Изменение геометрической схемы образца фиксировалось путем измерения прогибомерами горизонтальных и вертикальных перемещений характерных точек узла. Для измерения продольных деформаций элементов вблизи узла ставились тензорезисторы. Общий вид образца в процессе испытания показан на рис. 1.

Испытания проводились до разрушения образцов. Значения усилий в момент разрушений образцов приведены в табл. 2.

Получены достаточно большие коэффициенты запаса работы образцов как по величине разрушающих нагрузок, так и по величине предельных усилий в шпонках.

Т а б л и ц а 2

Результаты испытания образцов

Марка образца	$P_{разр}$, кН	Величины разрушающих усилий			Коэффициенты надежности	
		M , кН·м	N , кН	$T_{ш}$, кН	$k = \frac{P_{разр}}{P_T}$	$k = \frac{T_{ш,разр}}{T_{ш,T}}$
М-2,5ККШ-60-1Б	9,5	44650	8,37	50,17	3,03*/2,03**	3,24/2,17
М-2,5ККШ-60-2Б	14,0	59220	6,66	68,07	3,91/2,62	3,96/2,65

* – коэффициенты k подсчитаны по кратковременным значениям величин;

** – коэффициенты k подсчитаны по длительным значениям величин.

На рис. 3–5 приведены эпюры нормальных напряжений в элементах в местах постановки тензодатчиков. Как видно, теоретические и экспериментальные значения нормальных напряжений достаточно близки, что говорит о соответствии расчетных предпосылок.

Разрушение образцов произошло в результате раскалывания в поперечном направлении. Линии раскалывания начинались от торца элемента и проникали далее внутрь его примерно на уровне установки шпонок параллельно наружным кромкам. Силами раскалывания служили составляющие усилий от момента M , направленные перпендикулярно линии, соединяющей центры шпонок (рис. 6). Решающую роль, очевидно, играют поперечные усилия $Q_{ш}$, создающие напряжения разрыва поперек волокон. Однако при этом могут оказаться опасными и силы скалывания $T_{ск}$, способствующие скалыванию древесины вдоль волокон.

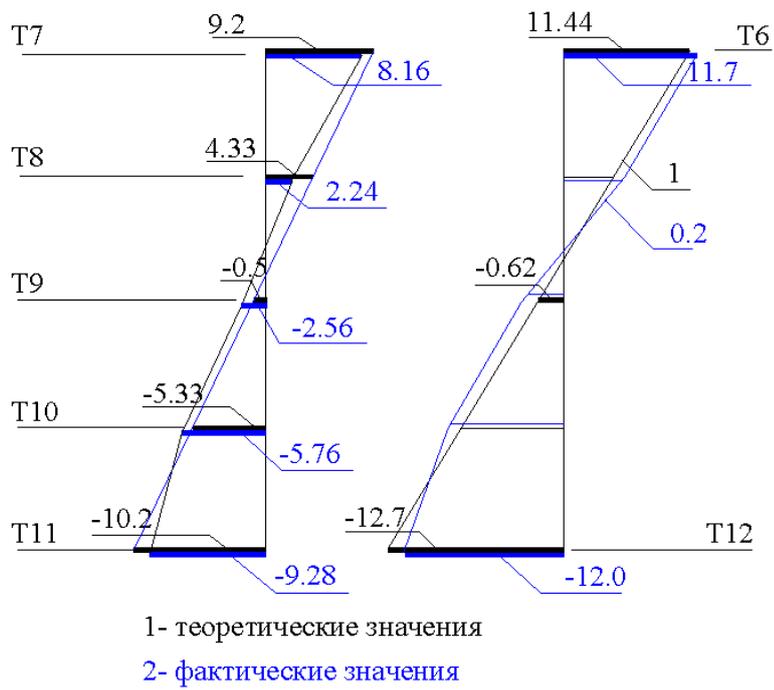


Рис. 3. Теоретические и фактические напряжения при $P_{расч} = 6 \text{ кН}$

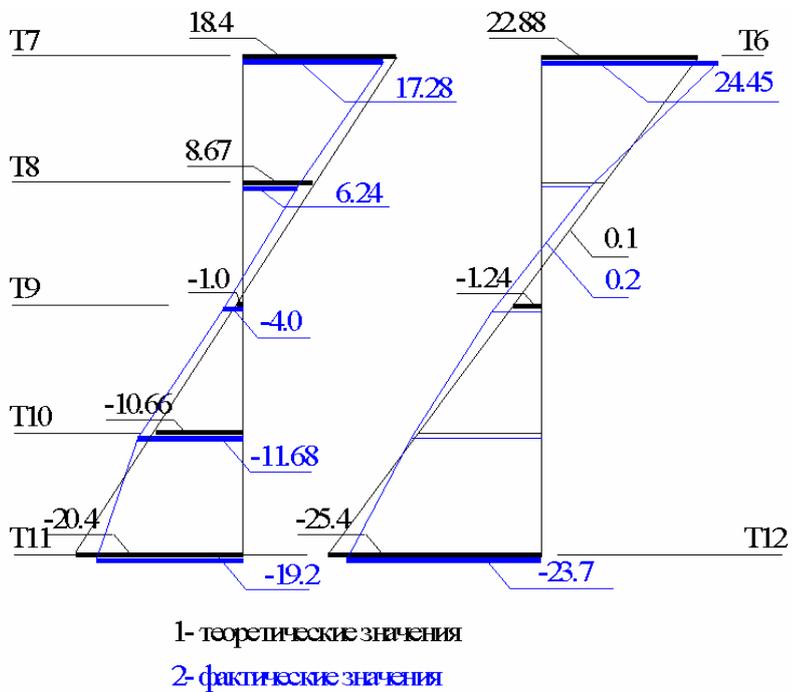


Рис. 4. Теоретические и фактические напряжения при $P_{расч} = 12 \text{ кН}$

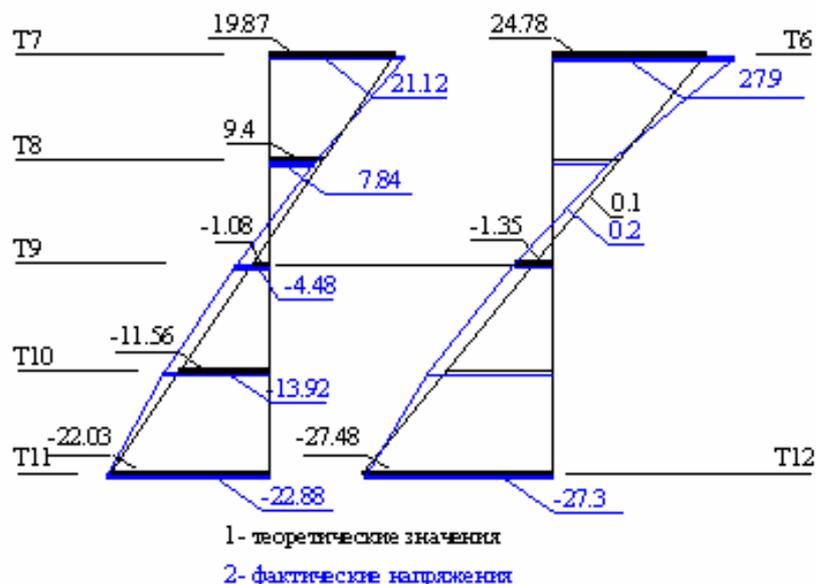


Рис. 5. Теоретические и фактические напряжения при $P_{\text{расч}} = 13$ кН

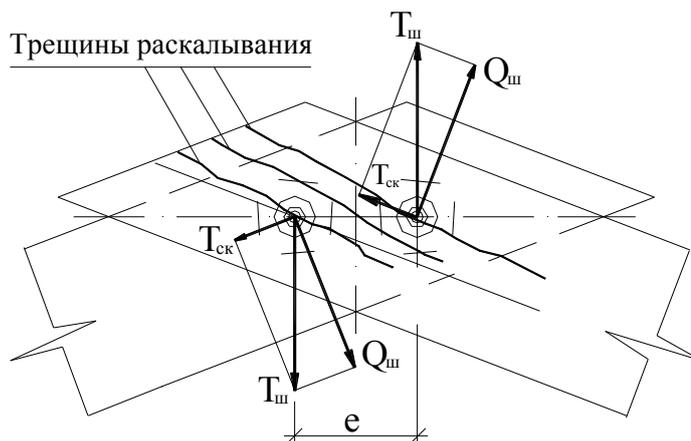


Рис. 6. Схема усилий и образования трещин раскалывания при разрушении образца

Следует заметить, что при достижении нагрузки, равной $P_{\text{разр}}$, каких-либо признаков разрушения самих шайб и всего соединения не обнаружено. Это говорит о том, что принятое соединение заведомо равнопрочно соединяемому цельному элементу. Несмотря на то что усилие, передаваемое шайбой, действовало под углом к направлению волокон древесины элементов, величина усилия была достаточно большой $T_{\text{ш,разр}} = 68,07$ кН, что говорит о высокой несущей способности шайб для данного вида соединений.

При действии $P_{\text{разр}}$ зафиксированы незначительное вертикальное смещение узла (примерно $0,041f$) и взаимное схождение сжимаемых элементов (примерно $0,011\ell$), что говорит о достаточно высокой жесткости соединения, а следовательно, и всего жесткого узла.

В ы в о д ы :

1. Принятая конструкция жесткого узла рамы обладает достаточно высокой несущей способностью и жесткостью.

2. Поскольку разрушение испытываемых образцов произошло не по соединению, а по самому элементу, можно констатировать, что рекомендуемое жесткое соединение равнопрочно соединяемым элементам.

3. В процессе испытания установлено, что деформации перемещения элементов узла незначительны, не приводят к искажению расчетной схемы, а следовательно, и к дополнительному увеличению расчетных усилий в узле, что говорит о достаточной жесткости и монолитности всего соединения.

Список литературы

1. Вдовин, В.М. Балочные структуры из клееных деревянных элементов с жесткими узлами на клеенных стальных шайбах: монография / В.М. Вдовин, Д.Д. Ишмаева. – Пенза: ПГУАС, 2015 – 148 с.
2. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80.

References

1. Vdovin, V.M. Beam structure from glued wooden elements with rigid joints on the glued steel washers: monograph / V.M. Vdovin D.D/ Ishmaeva. – Penza: PGUAC, 2015. – 148 p.
2. SP 64.13330.2011. Wooden structures. The updated edition of SNiP II-25-80.

УДК 624.014

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

Нежданов Кирилл Константинович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»

Гарькин Игорь Николаевич,
доцент кафедры «Управление качеством и
технология строительного производства»
E-mail: igor_garkin@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

Nezhdanov Kirill Konstantinovich,
Doctor of Sciences, Professor
of the department «Building constructions»

Garkin Igor Nikolaevich,
Senior Lecturer of the department «Quality
management and technology of building
design»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

ПОДКРАНОВАЯ БАЛКА С ПОВЫШЕННЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ РЕСУРСОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

К.К. Нежданов, И.Н. Гарькин

Предлагается улучшенный двутавровый профиль для подкрановых балок, используемых в зданиях цехов чёрной и цветной металлургии (с тяжёлым непрерывным режимом работы мостового крана 8К, 7К). Улучшенные характеристики достигаются путём увеличения толщины сечения в зоне выкружки, что исключает появление усталостных трещин в подрельсовой зоне.

Ключевые слова: подкрановая балка, выносливость, снижение материалоемкости, повышение жёсткости при изгибе, двутавровый профиль, оптимизация сечения

CRANE BEAM WITH INCREASED TECHNICAL RESOURCE

К.К. Nezdhanov, I.N. Garkin

Improved I-beam profile is available for crane girders used in the buildings of the work shops of ferrous and non-ferrous metallurgy (with a heavy continuous mode of operation of the overhead crane 8K, 7K) is suggested. Improved characteristics are achieved by increasing the thickness of the section in the fillet zone, which eliminates the appearance of fatigue cracks in the perrace zone.

Keywords: crane beam, endurance, reduced material consumption, increased bending stiffness, I-beam profile, cross section optimization

Основной причиной появления усталостных трещин в подрельсовой зоне подкрановых балок (эксплуатирующихся при тяжёлых режимах работ мостовых кранов) являются подвижные крутящие моменты, возникающие при качении колёс кранов по рельсам. Локальные напряжения от кручения значительны и способствуют зарождению усталостных трещинв перегруженнойподрельсовой зоне балки. Исключения усталостных трещин в подрельсовой зоне можно достичь использованиемспециальных профилей для подкрановых балок [1].

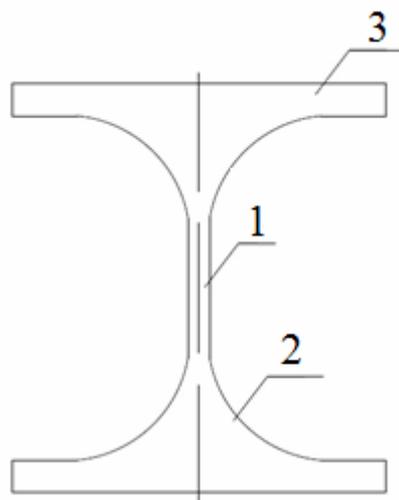
В двутавровых подкрановых балках прокатного профиля можно считать, что сталь при прокате используется не эффективно по сечению балки:момент сопротивления W_x профиля и момент инерции J_x можно увеличить без увеличения его материалоемкости. Для этого предлагается сопрягать:

– каждую из полок балки со стенкой посредством пары выкружек с радиусом $r = 0,6(b - t_{cr})$; здесь b – ширина полки, t_{cr} – толщина стенки;

– пояса балки со стенкой посредством четырёх выкружек; радиус каждого $r = \frac{b-t_{ст}}{3}$.

Такое распределение материала по сечению обеспечивает повышение главных характеристик прокатного профиля (момент сопротивления W_x , момент инерции J_x) без увеличения его материалоемкости [2, 3], а главное выносливости подрельсовой зоны при использовании его в качестве подкрановой балки, эксплуатируемой при тяжёлом непрерывном режиме работы (8К, 7К) в цехах чёрной и цветной металлургии.

В рекомендуемом улучшенном двутавровом профиле (см. рисунок) каждая из полок сопряжена со стенкой посредством двух пар выкружек.



Улучшенный двутавровый профиль:

1 – стенка; 2 – выкружка; 3 – полка

Профиль содержит стенку 1, четыре выкружки 2 и две полки 3. Радиус каждой выкружки $R = \frac{b-t_{ст}}{3}$.

Радиус R каждой выкружки в 3,5 раза больше, чем радиус r выкружки для стандартного двутаврового прокатного профиля. Увеличение радиуса R каждой выкружки ($R > r$) приводит к увеличению моментов сопротивления и инерции W_x, J_x . Толщина стенки в зоне пары выкружек возрастает в несколько раз, что исключает появление усталостных трещин в этой зоне. Такое увеличение радиуса приводит к уменьшению гибкости стенки предлагаемого профиля; возникает возможность уменьшить толщину стенки профиля около нейтральной оси X . Высота плоского участка стенки уменьшается по сравнению со стандартным профилем, что приводит к снижению гибкости стенки $\lambda_{ст} = h_{ст} / t_{ст}$, где $h_{ст}$ – высота сечения плоского участка стенки.

При прокате предлагаемого профиля в прокатной клети достаточно сменить только прокатные валки, формирующие радиус закругления каждой из выкружек; получатся заготовки такой же материалоемкости, но с моментами сопротивления и инерции, значительно большими, чем у стандартного профиля.

Приведём результаты конкретной реализации предлагаемого подхода.

Сравним разработанный новый профиль с аналогом (двутавровый профиль I 100Б4 с параметрами: $A = \text{const}$, $A = 397 \text{ см}^2$; $J_x = 6,62 \cdot 10^5 \text{ см}^4$; $W_x = 1,3 \cdot 10^4 \text{ см}^2$; радиусы инерции $i_x = 40,8 \text{ см}$; $i_y = 6,85 \text{ см}$; высота балки $h = 101,4 \text{ см}$; площадь сечения двух полок $2A_{пол} = 2 \cdot 32,31 \cdot 3,3 = 213,3 \text{ см}^2$, высота стенки $h_{ст} = 101,4 - 2 \cdot 3,3 = 94,8 \text{ см}$; толщина её $t_{ст} = 1,86 \text{ см}$; гибкость стенки $\lambda_{ст} = 94,8 / 1,86 = 51$).

Для нового профиля остались неизменными: $A = 397 \text{ см}^2$; высота сечения $h = 101,4 \text{ см}$; ширина полки $b = 32,31 \text{ см}$; толщина полки $t_{\text{пол}} = 3,3 \text{ см}$.

Радиус каждой выкружки был принят:

$$R = 0,3(b - t_{\text{ст}}) = 0,3(32,31 - 1,86) = 9,14 \text{ см}.$$

Площадь 1-й выкружки

$$A_{\text{Гр}} = 0,215r^2 = 0,215 \cdot 9,135^2 = 17,94 \text{ см}^2,$$

$$4A_{\text{Гр}} = 4 \cdot 17,94 = 71,8 \text{ см}^2.$$

Момент инерции четырёх выкружек

$$4J_x^{\text{Гр}} = 4 \cdot 0,00755R^4 = 4 \cdot 0,00755 \cdot 9,135^4 = 210 \text{ см}^4.$$

Площадь сечения стенки:

$$A_{\text{ст}} = A - 2A_{\text{Пол}} - 4A_{\text{Гр}}; \quad A_{\text{ст}} = 397 - 213,3 - 71,8 = 112 \text{ см}^2;$$

толщина стенки: $t_{\text{ст}} = A_{\text{ст}} / h_{\text{ст}} = 112 / 94,8 = 1,1813 \text{ см}$;

гибкость стенки: $\lambda_{\text{ст}} = (h_{\text{ст}} - 2r) / t_{\text{ст}} = 94,8 - 2 \cdot 9,2 / 1,2 = 64,78 < 74,8$.

Расстояния до центров тяжести выкружек:

$$y_1 = 0,223R = 0,2 \cdot 9,2 = 2 \text{ см};$$

$$y_{\text{Гр}} = 0,5(h_{\text{ст}} - y_1) = 0,5(95 - 2) = 46 \text{ см};$$

полки: $y_{\text{П}} = 0,5(h_{\text{ст}} + t_{\text{П}}) = 0,5(94,8 + 3,3) = 49 \text{ см}$.

Главные моменты инерции сечения нового профиля

$$J_x = \frac{2A_{\text{П}} \cdot t_{\text{П}}^2}{12} + 2A_{\text{П}} y_{\text{П}}^2 + \frac{A_{\text{ст}} \cdot h_{\text{ст}}^2}{12} + (4J_x^{\text{Гр}} + 4A_{\text{Гр}} \cdot y_{\text{Гр}}^2);$$

$$J_x = \frac{213,3 \cdot 3,3^2}{12} + 213,3 \cdot 49,05^2 + \frac{112 \cdot 94,8^2}{12} + (210,3 + 72 \cdot 46,3815^2) = 751708,2 \text{ см}^4.$$

Главные моменты инерции и сопротивления сечения нового профиля по сравнению с аналогом увеличились на 20 % каждый.

Момент инерции нового двутаврового профиля

$$J_y = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) + \frac{t_{\text{сг}}}{12}(b_{\text{max}}^3 - D^3).$$

В соответствии с действующими нормами назначается гибкость стенки, при которой не требуется проверка её устойчивости [5].

$$\overline{\lambda}_{\text{ст}} = \frac{h_{\text{ef}}}{e} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 2,5.$$

$$R_y = 230 \text{ МПа}; \quad E = 206000 \text{ МПа}.$$

Тогда $\lambda_{\text{ст}} = \frac{h_{\text{ef}}}{e} = 2,5 \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 74,8$. Ограничиваем гибкость стенки $\lambda_{\text{ст}} = 74,8$.

Площадь сечения оставляется без изменений, она распределяется по сечению следующим образом. Высота сечения балки – 101,4 см. Высота стенки – 94,8 см. Момент сопротивления нового двутавра – 14827 см³.

Эффективность нового балочного профиля 13,5 % (высокая).

Таким образом, новый прокатный профиль снижает материалоёмкость на 13,5 % по сравнению со стандартным профилем [4].

Особенно эффективен новый профиль для подкрановых балок, использующихся на предприятиях с тяжёлым режимом эксплуатации мостового крана [5], так как возникновение усталостной трещины в зоне выкружки *невозможно*, ввиду того что эффективный коэффициент концентрации напряжений близок к единице ($K_{эф} \approx 1$), а толщина в зоне выкружки увеличена в 3,5 раза. Такой же эффективностью обладают и тавровые профили, полученные из предлагаемого двутаврового профиля.

Список литературы

1. Нежданов, К.К. Испытание неразрезных подкрановых балок на выносливость / К.К. Нежданов, И.Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2. – С.81–86.
2. Нежданов, К.К. Способ проката двутаврового профиля сечения из низколегированной стали / К.К. Нежданов, И.Н. Гарькин // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2011. – №4. – С.51–55.
3. Нежданов, К.К. Эффективный способ проката уголкового профиля / К.К. Нежданов, Л.А. Железняков, И.Н. Гарькин // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2014. – №1. – С.71–75.
4. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Актуализированная редакция, Утверждён Министерством регионального развития Российской Федерации, 27.12.2010.
5. Управление безопасностью объектов повышенного риска / А.М. Данилов, О.А. Голованов, И.А. Гарькина, Э.В. Лапшин // Труды международного симпозиума «Надёжность и качество». – 2007. – Т.2. – С.109–112.

References

1. Nezhdanov, K.K. Testing of continuous crane beams for endurance / K.K. Nezhdanov, I.N. Garkin // Regional architecture and engineering. – 2016. – №2. – P.81–86.
2. Nezhdanov, K.K. Method of rolling an I-section profile of low-alloyed steel / K.K. Nezhdanov, I.N. Garkin // Construction mechanics and calculation of structures. – 2011. – N4. – P.51–55.
3. Nezhdanov, K.K. Effective method of angle profile rolling / K.K. Nezhdanov, L.A. Zheleznyakov, I.N. Garkin // Construction mechanics and calculation of structures. – 2014. – No. 1. – P.71–75.
4. SNiP II-23-81 * Steel structures. Updated version, Approved by the Ministry of Regional Development of the Russian Federation, 27.12.2010.
5. Management of the safety of high-risk facilities / A.M. Danilov, O.A. Golovanov, I.A. Garkina, E.V. Lapshin // Proceedings of the International Symposium «Reliability and Quality». – 2007. – Vol.2. – P.109–112.

УДК 69.009 +37.07+331.108.4

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

Арискин Максим Васильевич,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: m.v.ariskin@mail.ru

Гарькин Игорь Николаевич,
доцент кафедры «Управление качеством и
технология строительного производства»
E-mail: igor_garkin@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

Ariskin Maksim Vasilevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building constructions»
E-mail: m.v.ariskin@mail.ru

Garkin Igor Nikolaevich,
Senior Lecturer of the department «Quality
management and technology of building
design»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

УСЛОВИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЗЛОВОГО КРАНА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

М.В. Арискин, И.Н. Гарькин

Дается обоснование возможности использования козлового крана при повышенных сейсмических воздействиях. Предлагается методика оценки с использованием проектно-вычислительного комплекса SCAD 11.5.

Ключевые слова: металлические конструкции, козловой кран, сейсмические воздействия, метод конечных элементов, вычислительный комплекс SCAD

CONDITIONS FOR THE USE OF A GANTRY CRANE UNDER SEISMIC ACTION

M.V. Ariskin, I.N. Garkin

Feasibility of using a gantry crane under increased seismic action is given. The estimation technique is proposed using the SCAD 11.5 design-computing complex.

Keywords: metal structures, gantry crane, seismic actions, finite element method, computer complex SCAD

Козловой кран является одним из часто используемых в строительстве грузо-подъемных механизмов (ГПМ). Эффективность его применения определяется грузо-подъемностью, высотой подъема груза, длиной пролета, районом строительства, а также особыми условиями эксплуатации. Ограничимся лишь сейсмическими воздействиями. Рассмотрим возможности использования крана при сейсмических воздействиях на основе специальных расчётов.

Приведём пример расчёта использования козлового крана К-651 в г.Керчи (условия эксплуатации на рис.1).

Расчет выполнен с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD [1]. Комплекс реализует конечно-элементное моделирование статических и динамических расчетных схем, проверку устойчивости, выбор невыгодных сочетаний усилий, проверку несущей способности стальных конструкций крана.

При моделировании [2, 3] крана (рис. 2, 3) использовались данные технического паспорта. С учётом неполной информации о работе элементов конструкции крана при моделировании принимались следующие допущения:

- колесная база смоделирована по конфигурации крана объемными пространственными элементами без отверстий и с общей паспортной массой;

- аналогично колесной базе моделировался поворотный механизм и противовес;
- сечения портала, башни, секций стрелы принимались по паспорту;
- нагрузки колесной базы в общей работе крана не участвуют.

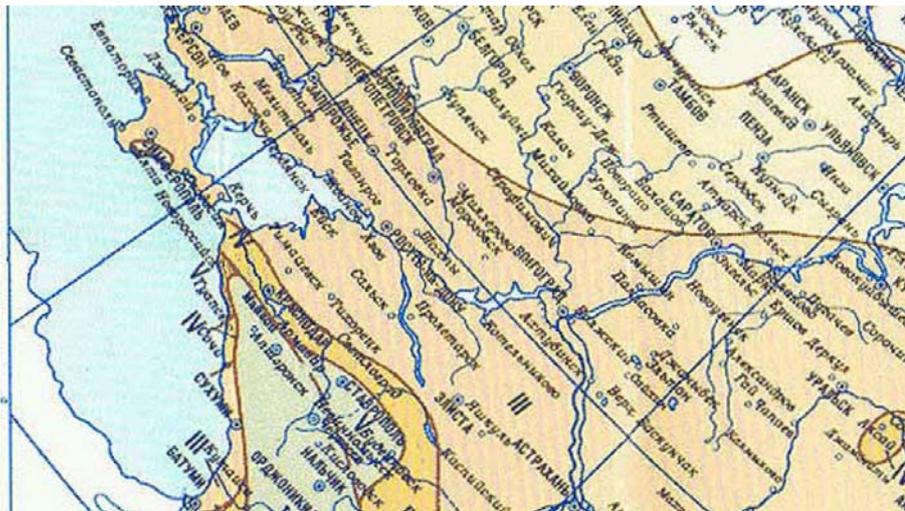
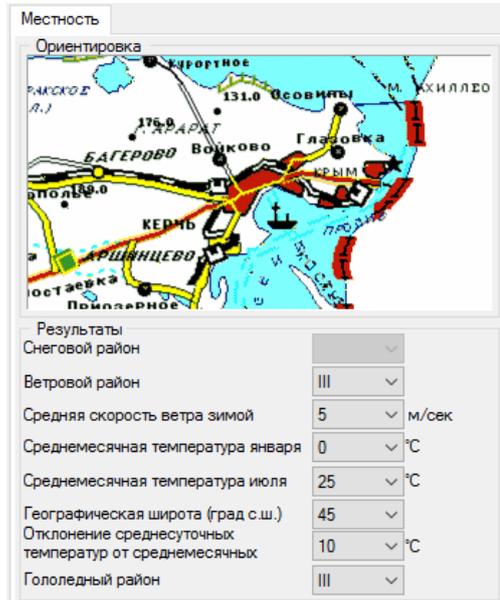


Рис.1. Условия эксплуатации крана

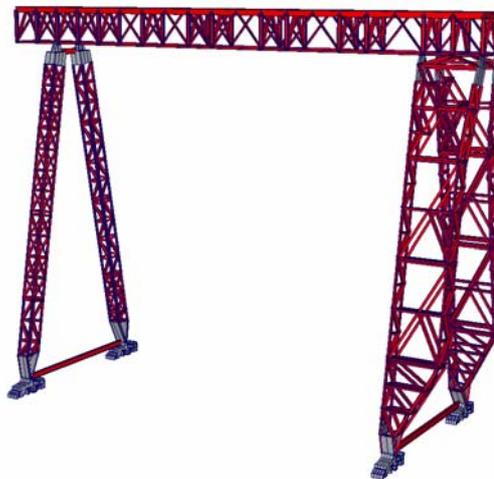


Рис.2 Общий вид модели крана

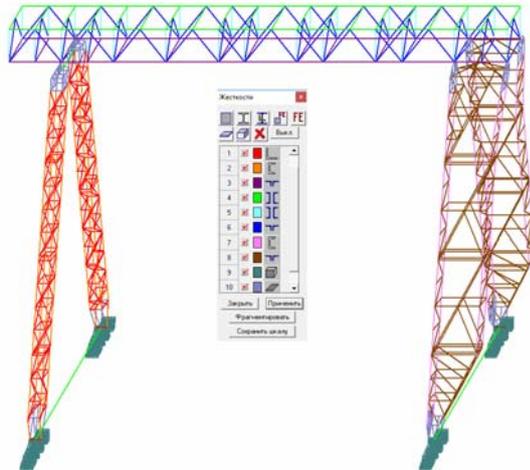


Рис.3. Цветовое обозначение:
красный – уголкового профиля; зелёный – двутавровый;
синий и коричневый – тавровый профиль

При таких допущениях достигается некоторый запас прочности. Все расчеты выполнялись для конструкций крана без дефектов (погнутости, трещины, расслоение металла и т.д), не учитывались дефекты в узлах при монтаже крана.

Расчетная схема рассматривалась как система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X , Y , Z и поворотами вокруг этих осей (рис.4). На рис. 5–6 приводятся сейсмические нагрузки при расчёте.

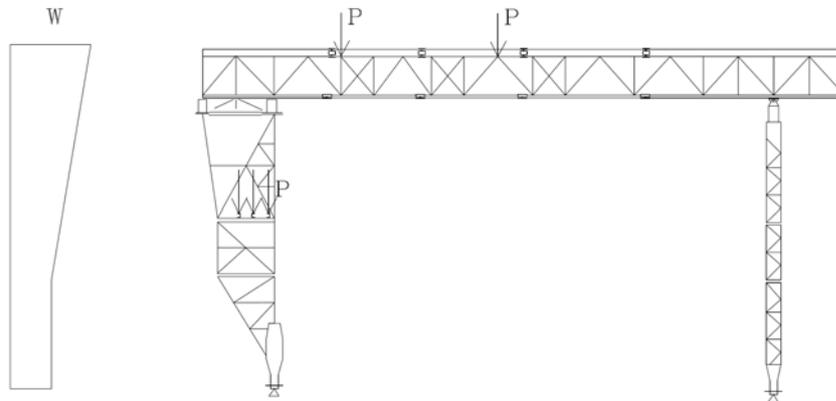


Рис.4. Общая расчетная схема

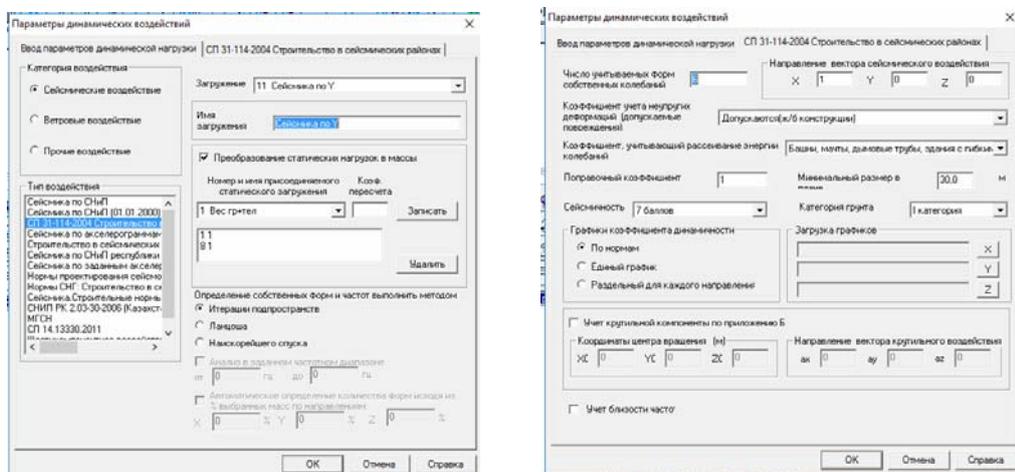


Рис. 5. Задание сейсмического воздействия по X

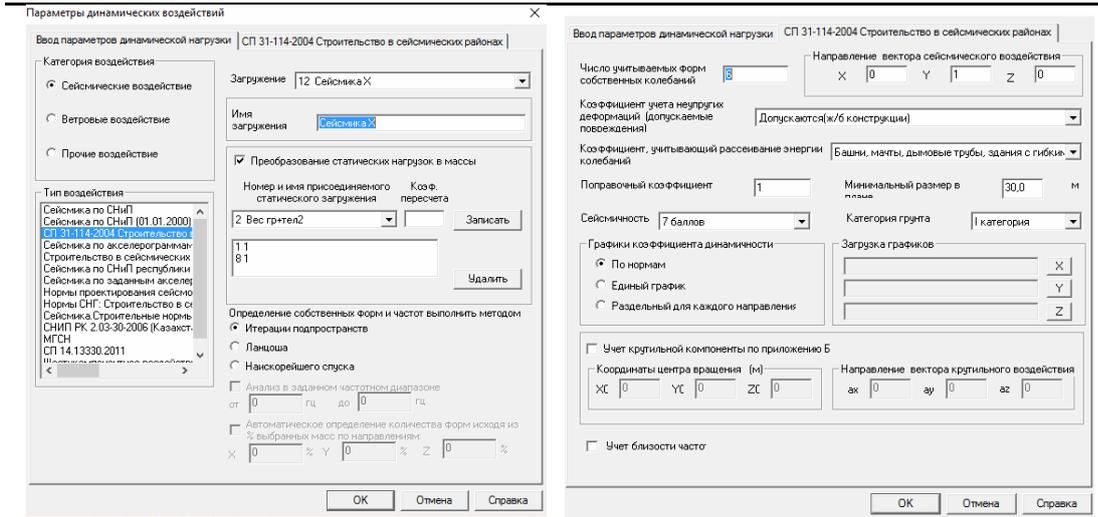


Рис. 6. Задание сейсмического воздействия по Y

Набор проверок определялся типом поперечного сечения элемента и комплексом действующих на него нагрузок. Проверка осуществлялась по:

- прочности стержней при действии продольной силы N ;
- устойчивости при сжатии в плоскостях XOZ и XOY ;
- прочности при действии изгибающего момента M_y или M_z ;
- прочности при действии поперечной силы V_z или V_y ;
- прочности при совместном действии N , M_y и M_z ;
- устойчивости в плоскости XOZ или XOY при внецентренном сжатии;
- устойчивости из плоскости XOZ или XOY при внецентренном сжатии;
- устойчивости плоской формы изгиба при действии момента M_y ;
- устойчивости при сжатии с двухосным эксцентриситетом ;
- чрезмерным деформациям растянутого волокна.

Результаты проверки приведены на рис.7, 8.

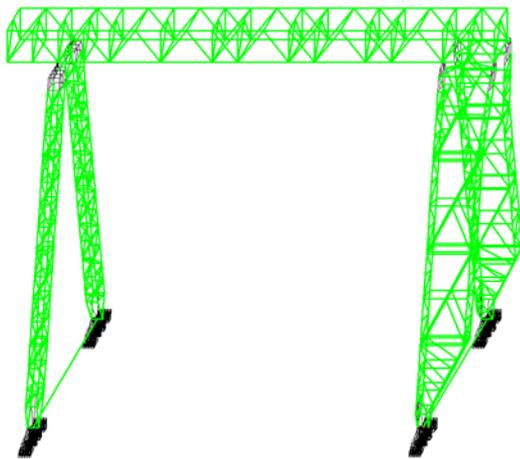


Рис. 7. Расчетная прочность несущих элементов крана (зеленый цвет – несущая способность обеспечена)

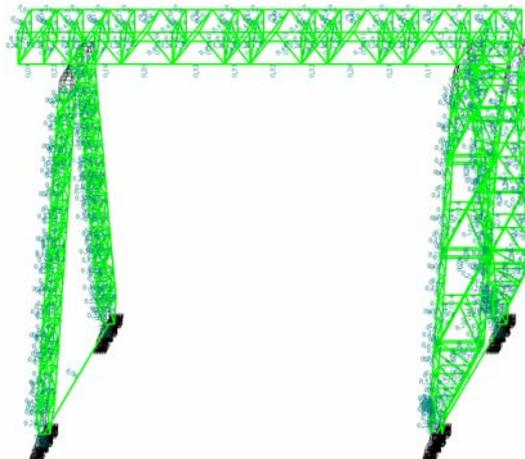


Рис. 8. Расчётная прочность несущих элементов крана (зеленый цвет – несущая способность обеспечена)

Как видим, даже при неблагоприятном сочетании сейсмических воздействий кран К-651 имеет требуемые прочность и устойчивость и может эксплуатироваться без опасности обрушения. Это позволяет рекомендовать внесение изменений в паспорт

крана с возможностью его эксплуатации без штрафных санкций со стороны фискальных органов.

Список литература

1. Арискин, М.В. Анализ причин падения башенного крана на основе построения модели в SCAD 11.5 / М.В. Арискин, И.Н. Гарькин // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – Ч. 2, № 10. – С.243–247.
2. Данилов, А.М. Методологические принципы математического моделирования сложных систем / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // *Вестник ПГУАС: строительство, наука, образование*. – 2015. – №1. – С.76–79.
3. Гарькина, И.А. Проблема многокритериальности при управлении качеством сложных систем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, В.О. Петренко // *Мир транспорта и технологических машин*. – 2013. – №2(41). – С.123–129.

References

1. Ariskin, M.V. Analysis of the causes of the fall of the tower crane on the basis of model building in SCAD 11.5 / M.V. Ariskin, I.N. Garkin // *Fundamental Research*. – 2016. – Part 2, No. 10. – P.243–247.
2. Danilov, A.M. Methodological principles of mathematical modeling of complex systems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // *Vestnik PGUAS: construction, science, education*. – 2015. – №1. – P.76–79.
3. Garkina, I.A. The problem of multicriteria in the management of the quality of complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.O. Petrenko // *The World of Transport and Technological Machines*. – 2013. – №2 (41). – P.123–129.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 541.135. 5

*Институт химии твердого тела и
механохимии СО РАН*

Россия, 630128, г. Новосибирск,
пр. Кутателадзе, д.18

Варенцов Валерий Константинович,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник
E-mail: <vvk@ngs.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

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: koshev@pguas.ru

*Institute of Chemistry of Hard Materials and
Mechanical Chemistry*

Russia, 630128, Novosibirsk, 18,
Kutateladze St.

Varentsov Valeriy Konstantinovich,
Doctor of Sciences, Professor, Senior
researcher
E-mail: vvk@ngs.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Alexander Nikolaevich Koshev,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «IT systems»
E-mail: koshev@pguas.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗООБРАЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В ПРОТОЧНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОДАХ ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

А. Н. Кошев, В. К. Варенцов

Разработаны математическая модель совместного восстановления ионов металла и водорода в проточном трехмерном электроде с учетом меняющихся характеристик процесса и электрода в течение электролиза, а также математическая модель образования и перемещения газообразного водорода по толщине проточного трехмерного электрода. Экспериментальным и расчетным путем обоснована необходимость учета образования газообразного водорода при математическом моделировании процесса, показано его влияние на электропроводность раствора и эффективность электроосаждения металла. Приведены некоторые результаты численного анализа.

Ключевые слова: математическая модель, дифференциальные уравнения, проточный трехмерный электрод, выделение газообразного водорода, осаждение металла, удельная электропроводность

MODELING THE PROCESS OF GENERATION HYDROGEN IN 3D-POROUS ELECTRODES AT ELECTRODEPOSITION OF METALS

A. N. Koshev, V. K. Varentsov

The article presents a mathematical model for the electrodeposition of the metal and hydrogen in flow-through three-dimensional electrodes, taking into account changes in process parameters and electrode during electrolysis. Developed a mathematical model of the formation and movement of hydrogen gas through the thickness of a flowing three-dimensional electrode. The necessity to take into account the formation of gaseous hydrogen is substantiated, its effect on the electrical conductivity of the solution and the efficiency of the electrodeposition of the metal are shown. Some results of numerical analysis are given.

Keywords: mathematical model, differential equation, three-dimensional flow-through electrode, hydrogen gas, deposition of metals, specific conductance

1. Введение

Результаты теоретических и экспериментальных исследований электроосаждения металлов на проточные трехмерные электроды (ПТЭ) из углеродных волокнистых материалов (УВМ) свидетельствуют о том, что параллельная реакция восстановления ионов водорода $2\text{H}^+ + 2\text{e} = \text{H}_2$ существенно влияет на эффективность процесса осаждения металлов, распределение металлов по толщине электрода, ограничивает производительность процесса, увеличивает энергозатраты, влияет на свойства электродного углеродного материала, кинетику электроосаждения металла [1–3].

Восстановление ионов водорода совместно с ионами металла (металлов) оказывает комплексное воздействие на целевую реакцию – восстановление ионов металла вплоть до металлической фазы. Макрокинетика процесса образования газообразного водорода является многостадийной – от присоединения электрона к ионам водорода на поверхности волокон УВМ до вывода образующегося газообразного водорода из объема ПТЭ. Результаты детального, поэтапного рассмотрения влияния этого процесса на электроосаждение металлов на ПТЭ нами в литературе не найдено. Реакция образования газообразного водорода и ее влияние на электропроводность жидкой фазы электрода и электролита и на неизбежно связанное с этим перераспределение поляризации и локальных плотностей тока парциальных реакций по толщине электрода осаждающихся металлов не учитываются в математических моделях электроосаждения металлов в ПТЭ из УВМ [4, 5]. В то же время известно, что соотношение электропроводностей жидкой и твердой фаз ПТЭ существенно влияет на показатели процесса электроосаждения металлов [1, 3, 4, 6].

Очевидно, что при осаждении металла на проточном трехмерном электроде, в том числе из углеродного волокнистого материала, все происходящие процессы необходимо рассматривать в динамике, т.е. от начальной фазы электролиза до осаждения металла и последующего заполнения объема проточного трехмерного электрода металлом. Такие исследования возможны только с использованием методов физико-математического моделирования, которые позволяют учитывать изменение характеристик процесса электроосаждения металла и выделения водорода, поляризаций, локальных плотностей тока, массы осаждающегося металла, количества (объема) выделившегося водорода, электропроводностей твердой и жидкой фаз ПТЭ в процессе электролиза и таким образом решать задачу по исследованию макрокинетики рассматриваемых процессов.

Эффект выделения водорода на поверхности волокон УВМ в процессе осаждения различных металлов наглядно показан на рис. 1. Приведенные микрофотографии осадков металлов на УВЭ свидетельствуют о том, что доля поверхности, на которой выделяется водород, может быть существенной. Потому рассмотрение вопроса о влиянии реакции восстановления ионов водорода на электроосаждение металлов на ПТЭ является важным и целесообразным.

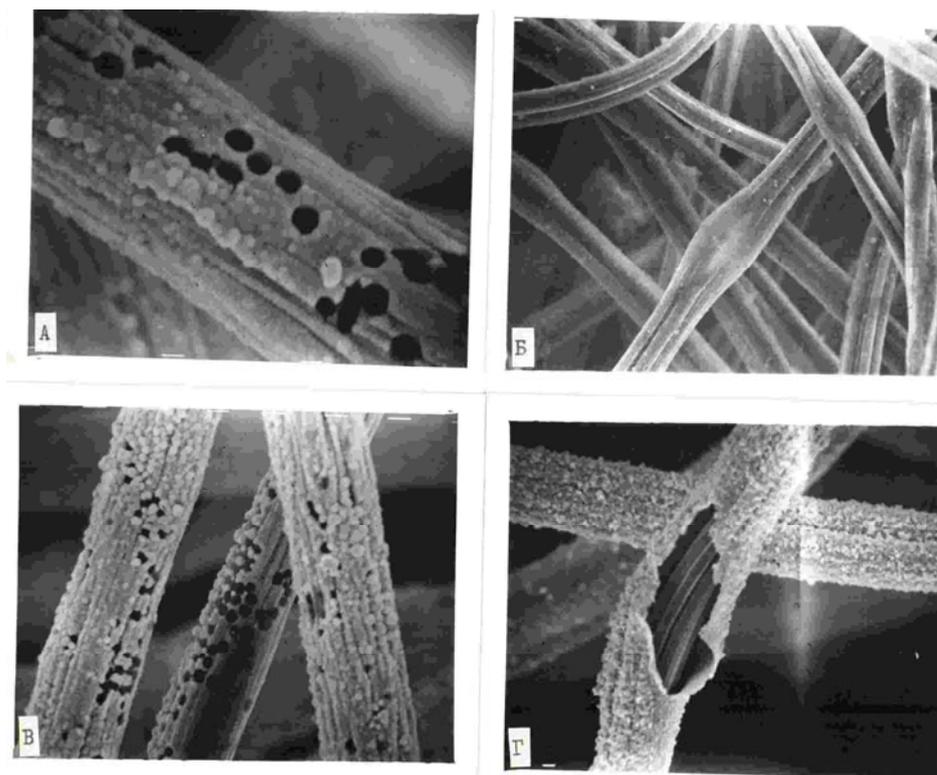


Рис. 1. Осадки металлов на нитях УВМ:

А – медь; Б – никель; В – медь; Г – кадмий. (Вспучивание и разрывы в покрытии металлов соответствуют местам на углеродистых нитях, где происходит образование газообразного водорода)

В данной работе приводятся математические модели электрохимических процессов в ПТЭ, позволяющие рассчитывать все необходимые электрохимические функции во времени и пространстве, а также процессы образования и перемещения газообразного водорода по толщине проточного трехмерного электрода, его влияние на электропроводность раствора и эффективность электроосаждения металла.

2. Математическая модель для расчета процессов в ПТЭ

Для расчета распределения электрохимических процессов в проточном трехмерном электроде (ПТЭ) ранее нами были получены математические модели, представленные в работах [7, 8] и описывающие процессы электроосаждения металлов из поликомпонентных систем при нестационарном электролизе, с учетом возможного перераспределения по толщине электрода таких основных параметров процесса и электрода, как электропроводность твердой и жидкой фаз системы, линейная скорость протока электролита, удельная реакционная поверхность электрода и др. В данной работе мы рассмотрим случай, когда электроактивными компонентами процесса являются ионы осаждаемого на ПТЭ металла и водорода, разряжающиеся на углеродистых волокнах.

Известно, что в условиях, когда направление протока электролита и линии электрического поля взаимно параллельны, что реализуется в большинстве конструкций электрохимических реакторов с ПТЭ, в том числе из УВМ [3,9,10], правомерно использование одномерных моделей, так как электрохимические процессы в ПТЭ на любой линии $0 \leq x \leq L$, где L – толщина электрода, можно считать идентичными, при фиксированных значениях координат y , $0 \leq y \leq 1$ и z , $0 \leq z \leq 1$. Таким образом, единичное сечение электрода, перпендикулярное направлению потока раствора и линиям тока, ассоциируется с точкой, имеющей координату x по толщине электрода.

В рассматриваемом случае распределение потенциала U ; концентраций электроактивных компонентов: C_M – концентрации ионов металла и C_H – концентрации ионов водорода; парциальных плотностей тока J_{SM} , J_{SH} и скорости протока электролита v по толщине ПТЭ описывается дифференциальными и алгебраическими уравнениями с одной пространственной координатой x и временной координатой t [7–8]:

$$F \sum z_I \frac{\partial C_I}{\partial t} = - \frac{\partial \left(\frac{\kappa_T \kappa_{Ж}}{\kappa_T + \kappa_{Ж}} \frac{\partial U}{\partial x} \right)}{\partial x} - v F \sum z_I \frac{\partial C_I}{\partial x} - F \frac{\partial v}{\partial x} \sum z_I C_I, \quad (1)$$

$$v z_I F \frac{\partial C_I}{\partial x} = - S_V J_{SI}, \quad (2)$$

$$J_{SI}(x) = j_{0I} \frac{\exp(\alpha_I z_I F (U - \varphi_{RI}) / RT) - \exp((\alpha_I - 1) z_I F (U - \varphi_{RI}) / RT)}{1 + j_{0I} \exp(\alpha_I z_I F (U - \varphi_{RI}) / RT) / z_I F v C_I}, \quad (3)$$

$$C_I(0, \tau) = C_{0I}, C_I(x, 0) = C_{0I}, \frac{\partial U}{\partial x}(0, t) = -J(t) / \kappa_T, \frac{\partial U}{\partial x}(L, t) = J(t) / \kappa_{Ж}. \quad (4)$$

Индекс I в уравнениях (1) – (4) может принимать значения, соответствующие осаждаемому металлу (M) и водороду (H): $I=M, H$; α_I – коэффициенты переноса соответственно для реакции восстановления ионов металла и ионов водорода; j_I – токи обмена; $\varphi_{R,I}$ – равновесные потенциалы; z_I – число электронов I -го электроактивного компонента, участвующих в реакции; F – число Фарадея, κ_T , $\kappa_{Ж}$ – удельные электропроводности материала катода и электролита, S_V – удельная реакционная поверхность ПТЭ, $J(t)$ – габаритная плотность тока, проходящего через электрод, в момент времени t ; C_{0I} – концентрации электроактивных компонентов в электролите на входе в электрод.

Решение системы уравнений (1)–(4) будем проводить для последовательности выбранных временных интервалов $t \in [T_{i-1}, T_i]$, $i=1, \dots, n$, $T_0=0$, $T_n=T$, где T – общее время процесса. При этом при переходе времени из интервала $\tau \in [T_{i-1}, T_i]$ в интервал $\tau \in [T_i, T_{i+1}]$ будем корректировать значения основных параметров процесса: распределенной удельной электропроводности электрода $\kappa_T(x, T_i)$, скорости протока электролита $v(x, T_i)$, удельной реакционной поверхности электрода $S_V(x, T_i)$ и пористости УВМ $\varepsilon(x, T_i)$, изменение которых в процессе электролиза возможно в результате электроосаждения металла на ПТЭ, по ранее полученным формулам [7]:

$$\begin{aligned} \varepsilon(x, T_i) &= \varepsilon_0 - \frac{M(x, T_i)}{\rho}; \quad v(x, T_i) = \frac{m_v}{\varepsilon(x, T_i)}; \quad M(x, T_i) = m_v dx \int_0^{T_i} \frac{dc(x, \tau)}{dx} d\tau; \\ S_V(x, T_i) &= \frac{4(1 - \varepsilon(x, T_i))}{d} \cdot \sqrt{1 + \frac{M(x, T_i)}{\rho(1 - \varepsilon(x, T_i))}}; \\ \kappa_T(x, T_j) &= \frac{\kappa_y (1 - \varepsilon(x, T_i))^{2/3} + \frac{S_V(x, T_i) \varepsilon(x, T_i) \kappa_M}{z_I F q} \int_0^{T_i} J_{SI}(x, \tau) d\tau}{(1 - \varepsilon(x, T_i))^{2/3} + \frac{S_V(x, T_i) \varepsilon(x, T_i)}{z_I F q} \int_0^{T_i} J_{SI}(x, \tau) d\tau}. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь ρ – плотность металлического осадка, κ_M – удельная электропроводность металлического осадка, m_v – объемная скорость протока раствора, q – удельный вес металлического осадка, а $M(x, T_i)$ – количество осажденного металла в слое единичного сечения с координатой x в момент времени T_i . Система уравнений (1) – (5) позволяет

рассчитывать распределение потенциала электрода, парциальных плотностей тока и концентраций ионов осаждаемого металла и ионов восстанавливаемого водорода в динамике процесса.

3. Математическая модель для расчета количества образующегося газообразного водорода и электропроводности раствора электролита

На волокнах углеграфитового материала, составляющих твердую фазу проточного трехмерного электрода, происходит восстановление положительно заряженных ионов водорода согласно реакции $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$. Молекулы водорода объединяются в пузырьки газа, которые могут частично закрепляться на углеграфитовых нитях и частично выноситься из объема ПТЭ вместе с раствором электролита. Построим математическую модель для расчета количества газообразного водорода в каждом элементарном объеме порового пространства ПТЭ и распределения газообразного водорода по толщине электрода. Для этого составим баланс для количества газа в некотором элементарном объеме системы dV ($dV=l \times l \times dx$). Количество газа dG , выделившегося за время dt в объеме dV , очевидно, можно рассчитать по формуле

$$dG = (1 - \varepsilon)G(x, t)dVdt. \quad (6)$$

Здесь $G(x, t)$ – мощность источника образования газа. В уравнении (6) учтено, что источник занимает некоторую часть элементарного объема электрода, равную объему твердой фазы системы в этом объеме. Очевидно, что часть газа dG_c расходуется на изменение концентрации внутри элемента dV , а часть dG_v будет перемещаться вместе с потоком электролита. Следовательно,

$$dG_c = \varepsilon dV [C_H(x, t + dt) - C_H(x, t)] = \varepsilon \frac{dC_H}{dt} dt dV, \quad (7)$$

$$dG_v = v [C_H(x, t) - C_H(x + dx, t)] dt = v \frac{dC_H}{dx} dt dx. \quad (8)$$

Учитывая, что $dG = dG_c + dG_v$, получим уравнение

$$\varepsilon \frac{\partial C_H}{\partial t} - v \frac{\partial C_H}{\partial x} - (1 - \varepsilon)G = 0. \quad (9)$$

Для расчета мощности источника выделения водорода $G(x, t)$ будем использовать известную формулу [11]:

$$G(x, t) = \frac{J_{SH}(x, \tau) \Theta_\Gamma}{26,6}. \quad (10)$$

В формуле (10) Θ_Γ – грамм-эквивалент выделяющегося водорода. Учитывая соотношение (2): $vz_H F \frac{\partial C_H}{\partial x} = -S_V J_{SH}$, получим уравнение

$$\varepsilon \frac{\partial C_H}{\partial t} + J_{SH}(x, \tau) \left[\frac{(\varepsilon - 1) \Theta_\Gamma}{26,6} + \frac{S_V}{z_H F} \right] = 0. \quad (11)$$

Так как известна величина $C_H(x, 0) = C_{0H}$, условие (4), то система уравнений (1) – (5), (11) позволяет рассчитывать концентрацию газообразного водорода в элементарном объеме проточного трехмерного электрода с координатой x в любой выбранный момент времени электрохимического процесса.

Как было отмечено выше, выделяющиеся и перемещающиеся пузырьки газообразного водорода могут влиять на величину удельной электропроводности раствора электролита, прокачиваемого через электрод. Существует формула [12], позволяющая оце-

нить изменение удельной электропроводности электролита, если известен коэффициент газонаполнения γ :

$$\kappa_{\gamma} = \kappa_{ж} (\gamma^2 - 1,78\gamma + 1). \quad (12)$$

В свою очередь, коэффициент газонаполнения вычисляется как отношение объема, занимаемого газовой фазой в выделенном объеме ПТЭ, dV_G к выделенному объему dV :

$$\gamma = \frac{dV_G}{dV}.$$

Как было принято выше, $dV=1 \times 1 \times dx$, то есть численно $dV= dx$. Величину dV_G можно рассчитать по формуле

$$dV_G(x,t) = \frac{C_H(x,t)}{q_H}, \quad (13)$$

где q_H – плотность газообразного водорода. Следовательно, коэффициент γ можно вычислить по формуле

$$\gamma(x,t) = \frac{C_H(x,t)}{q_H dx}. \quad (14)$$

Приведенные в данном разделе уравнения и формулы позволяют рассчитывать распределение электрохимических процессов по толщине ПТЭ с учетом изменяющейся электропроводности электролита в процессе электролиза, обусловленной образованием газообразного водорода.

4. Результаты расчетов и обсуждение

На рис.2, А, В представлены некоторые результаты расчетов распределения процесса электроосаждения серебра из тиомочевинного сернокислого раствора в проточном трехмерном электроде. Основные характеристики системы раствор – электрод и параметры процесса имели следующие значения: $C_{Ag}(x,0)=10^{-6} \text{ г/см}^3$; $\kappa_T=\kappa_{ж}=0,1 \text{ См/см}$; $L=1 \text{ см}$; $J(t)=1 \text{ А/см}^2$; $v(0,t)=0,1 \text{ см/с}$; $S_V(x,0) = 300 \text{ см}^2/\text{см}^3$; $\varepsilon(x,0)=0,97$.

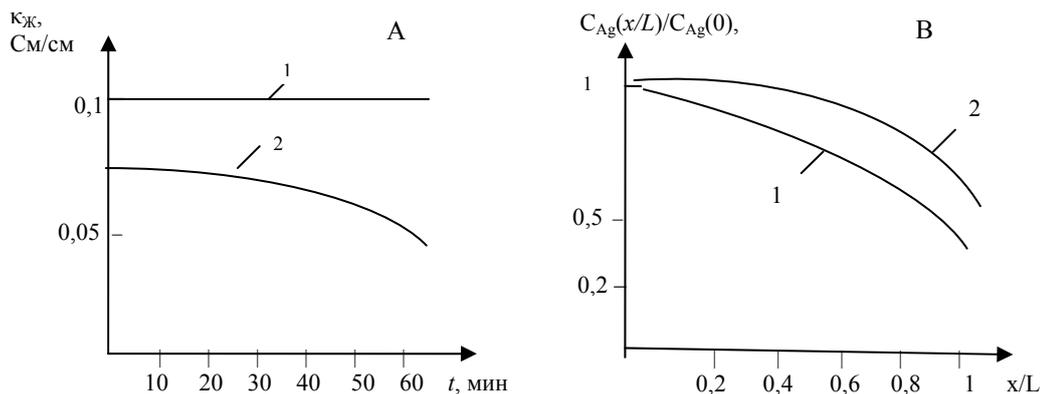


Рис. 2

А – средняя по толщине ПТЭ электропроводность электролита для различных значений времени процесса: 1 – без учета, 2 – с учетом выделения газообразного водорода;
В – распределение относительной концентрации серебра по толщине ПТЭ через 60 мин процесса: 1 – без учета, 2 – с учетом выделения газообразного водорода

Приведенные и другие результаты численных исследований показывают, что выделение газообразного водорода может существенно влиять на процесс электроосаждения металла на ПТЭ. Следовательно, при математическом моделировании электрохимических процессов в проточных трехмерных электродах необходимо учитывать образование газообразного водорода. Так, например, из рис.2 следует, что средняя электропроводность раствора электролита может существенно понизиться в процессе электроосаждения металла. Это, в свою очередь, приводит к снижению степени извлечения и общего количества серебра. Однако можно заметить и некоторое улучшение равномерности распределения металла по толщине проточного трехмерного электрода, обусловленное тем, что в данной конкретной электрохимической системе при образовании газообразного водорода на слоях углеродистых нитей, прилегающих к границам ПТЭ, электрохимические процессы протекают таким образом, что суммарная плотность тока перераспределяется в пользу парциального тока, расходуемого на образование водорода, по отношению к плотности тока, потребляемого на образование металлического осадка. В других областях ПТЭ парциальные плотности тока по металлу, рассчитанные без учета реакции образования водорода и с учетом такой реакции, различаются мало. Это и приводит к выравниванию распределения процесса осаждения металла по толщине ПТЭ.

Список литературы

1. Варенцов, В.К. Современные проблемы электролиза и задачи оптимизации процессов в реакторах с трехмерными углеродными электродами / В.К. Варенцов, А.Н. Кошев, В.И. Варенцова. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 288 с.
2. Варенцов, В.К. Модификация электродных свойств углеродных волокнистых материалов электролизом в водных растворах / В.К. Варенцов, В.И. Варенцова // Электрохимия. – 2001. – № 7. – С. 811–820.
3. Варенцов, В.К. Электрохимические процессы и аппаратура с объёмно-пористыми проточными электродами для извлечения металлов из разбавленных растворов: дис. ... д-ратехн. наук / В.К. Варенцов. – Свердловск: ИВТЭ УРО АН СССР, 1990.
4. Варенцов, В.К. Математическое моделирование электрохимических процессов в проточных трехмерных электродах / В.К. Варенцов, А.Н. Кошев // Известия СО АН СССР. Сер. хим. наук. – 1988. – № 17. – С. 117–125.
5. Electrodeposition on a porous electrode with low initial conductivity: effect of the oxidant on the dynamics of the cathode deposit mass / A.I. Masliy [etc.] // J. of Electroanalytical Chem. – 2008. – Vol. 623, №2. – P. 155–164.
6. Маслий, А.И. Влияние газообразных продуктов суммарного электродного процесса на локальную проводимость раствора и эффективность работы проточного пористого электрода / А.И. Маслий, Н.П. Поддубный, А.Ж. Медведев // Электрохимия. – 2010. – №12. – С. 1427–1436.
7. Processes in the porous electrode: Case of distributed flow-through electrolyte velocity / A.N. Koshev, V. K. Varentsov, I. F. Sukhov, G. Gvozdeva // Mathematical Models and Computer Simulations. – 2013. – Vol. 5, Is. 5. – P. 429–438.
8. Кошев, А.Н. Краевые условия для дифференциальных уравнений, описывающих электрохимические процессы в реакторах с проточными трехмерными электродами / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов // Математическое моделирование. – 2014. – Т. 26, № 2. – с. 11–24.
9. Фиошин, М.Я. Электрохимические системы в синтезе химических продуктов / М.Я. Фиошин, М.Г. Смирнова. – М.: Химия, 1985. – 256 с.
10. Варенцов, В.К. Электрохимические реакторы с УВЭ: разработка и использование / В.К. Варенцов // Химия в интересах устойчивого развития. – 1997. – № 2. – С. 147–156.

11. Чирков, Ю.Г. Интенсификация электрохимических процессов. Теория газообразования и газовой выделения в пористых электродах / Ю.Г. Чирков. – М.: Наука, 1983. – 214 с.
12. Каданер, Л.И. Справочник по гальваностегии / Л.И. Каданер. – Киев: Техника, 1976. – 160 с.

References

1. Varentsov, V.K. Modern problems of electrolysis and a problem of optimization of processes in reactors with three-dimensional carbon electrodes / V.K. Varentsov, A.N. Koshev, V.I. Varentsova. – Penza: PGUAS, 2015. – 288 p.
2. Varentsov, V.K. Modification of electrode properties of carbon fibrous materials electrolysis in water solutions / V.K. Varentsov, V.I. Varentsova // *Electrochemistry*. – 2001. – № 7. – P.811–820.
3. Varentsov, V.K. Electrochemical processes and the equipment with volume and porous flowing electrodes for extraction of metals from the diluted solutions: yew Doctor of Engineering sciences / V.K. Varentsov. – Sverdlovsk: Ural office of academy of Sciences USSR, 1990,
4. Varentsov, V.K. Mathematical modeling of electrochemical processes in flowing three-dimensional electrodes / V.K. Varentsov, A.N. Koshev // *News of Siberian office of academy of Sciences of the USSR*. – 1988. – series of chemical sciences.-№ 17. –P.117–125.
5. Electrodeposition on a porous electrode with low initial conductivity: effect of the oxidant on the dynamics of the cathode deposit mass / A.I. Masliy [etc.] // *J. of Electroanalytical Chem.* – 2008. – Vol. 623, №2. – P. 155–164.
6. Masly, A.I. Influence of gaseous products of total electrode process on local conductivity of solution and overall performance of a flowing porous electrode / A.I. Masly, N.P. Poddubny, A.Zh. Medvedev // *Electrochemistry*. – 2010. – №. 12. – P. 1427–1436.
7. A.N. Koshev, V. K. Varentsov, I. F. Sukhov, G. Gvozdeva. Processes in the porous electrode: Case of distributed flow-through electrolyte velocity//*Mathematical Models and Computer Simulations*. – 2013. – Vol. 5, Issue 5. – P. 429–438.
8. Koshev, A.N. Regional conditions for the differential equations describing electrochemical processes in reactors with flowing three-dimensional electrodes / A.N. Koshev, V.K. Varentsov // *Mathematical modeling*. – 2014. – Vol. 26, № 2. – P. 11–24.
9. Fioshin, M.Ya. Electrochemical systems in synthesis of chemical products / M.Ya. Fioshin, M.G. Smirnova. – М.: Chemistry, 1985. – 256 p.
10. Varentsov, V.K. Electrochemical reactors with UVE: development and use / V.K. Varentsov // *Chemistry for the benefit of sustainable development*. – 1997. – №. 2. – P. 147–156.
11. Chirkov, Yu.G. Intensification of electrochemical processes. The theory of gas generation and gas emission in porous electrodes / Yu.G. Chirkov. – М.: Science, 1983. – 214 p.
12. Kadaner, L.I. Reference book on galvanization / L.I. Kadaner. – Kiev: Equipment, 1976. – 160 p.

УДК 628.3

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Шеин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Механика»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Князев Владимир Александрович,
аспирант кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail:andreev3007@rambler.ru

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

Shein Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the Department «Mechanics»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Knyazev Vladimir Aleksandrovich,
Postgraduate of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic Engineering»

НОВАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТРУБЧАТОГО СМЕСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, А.И.Шеин, В.А. Князев

Приведены результаты теоретических исследований гидравлических характеристик трубчатых смесительных устройств. Получены уравнения для определения точных значений чисел Рейнольдса в точках перехода режима движения жидкости в область квадратичного закона сопротивления шероховатых русел. Полученные зависимости могут быть использованы при проектировании аппаратного оформления процессов реагентной очистки природных и сточных вод.

Ключевые слова: трубчатое смесительное устройство, критерий Рейнольдса, пристеночный слой; динамическая скорость, число Никурадзе, относительная шероховатость

NEW METHOD OF DEFINITION OF RATIONAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF TUBULAR MIXING DEVICE

S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, A.I. Shein, V.A. Knyazev

The results of theoretical researches of hydraulic characteristics of the tubular mixing devices are presented. The equations for definition of exact values of Reynolds numbers in transition points of fluid flow mode to the field of the square resistance law of rough ducts are obtained. The obtained dependences can be used when designing the equipment of reagent treatment processes of natural and waste waters.

Keywords: tubular mixing device, Reynolds criterion, wall layer, dynamic speed, Nikuradse number, relative roughness

В настоящее время в технологиях очистки природных и сточных вод широко используются процессы реагентной обработки. Процессы реагентной очистки предусматривают ввод в обрабатываемую воду в определенных точках технологической схемы соответствующих реагентов. Важную роль при реагентной очистке играет перемешивание потока обрабатываемой воды с добавляемыми в него реагентами. При эффективном распределении добавляемых в поток обрабатываемых вод реагентов обеспечивается контакт максимально большего числа примесей как с самими вводимыми реагентами, так и с продуктами их гидролиза, что позволяет существенно интенсифицировать процесс очистки. Перемешивание воды с добавляемыми в нее реагентами осуществляется в смесителях различной конструкции.

Быстро и эффективно перемешать поток обрабатываемой воды с реагентами позволяют трубчатые гидродинамические смесительные устройства, которые обладают такими достоинствами, как высокая удельная производительность и интенсивность процесса перемешивания потока обрабатываемых сточных вод.

При проектировании трубчатых смесительных устройств актуальной является задача, связанная с решением проблемы разработки методики определения величины рациональных удельных энергетических затрат, обеспечивающих требуемую интенсивность процесса перемешивания.

Интенсивность процесса перемешивания и величина необходимых удельных энергетических затрат определяются режимом движения обрабатываемых вод в трубчатом смесительном устройстве.

При ламинарном режиме движения жидкости по трубе круглого сечения необходимы минимальные энергетические затраты на процесс перекачивания, при этом практически отсутствует перемешивание жидкости, поскольку турбулентная составляющая скорости движения потока равна нулю.

Наибольшие удельные энергетические затраты и максимальная турбулентность наблюдаются при развитом турбулентном режиме движения потока в области квадратичного закона сопротивления шероховатых русел. В этой области величина коэффициента гидравлического трения λ не зависит от числа Рейнольдса Re , а определяется величиной относительной шероховатости русла потока $\bar{\Delta}$:

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}, \quad (1)$$

где Δ – эквивалентная шероховатость русла потока (величина высоты выступов шероховатости, которая при равномерном распределении дает при подсчете одинаковую с заданной шероховатостью величину гидравлического коэффициента трения λ) (м); d – диаметр трубы (м).

Содержащаяся в потоке жидкости энергия в трубчатом смесительном устройстве за счет действия сил трения будет рассеиваться в окружающую среду и превращаться в теплоту. Явление рассеивания энергии в окружающую среду называется диссипацией энергии. Отношение потери энергии при равномерном прямолинейном движении потока жидкости A (Дж) на длине участка l (м) к массе этого потока m (кг) принято называть удельной массовой диссипацией энергии ε_l (Дж/кг; m^2/c^2) [1, 2]:

$$\varepsilon_l = \frac{A}{m}. \quad (2)$$

Поскольку $A = \omega \cdot l \cdot \Delta P$ (Дж); $\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$ (Па); $h = i \cdot l$ (м); $m = \omega \cdot l \cdot \rho$ (кг); $v_*^2 = i \cdot R \cdot g$ (m^2/c^2), где ω – живое сечение потока (m^2); ΔP – потеря давления (Па) на участке потока длиной l (м); ρ – плотность жидкости (kg/m^3); h – потеря напора (м); g – ускорение свободного падения, $g = 9,8 m/c^2$; i – гидравлический уклон; v_* – динамическая скорость (м/с); R – гидравлический радиус (м), то

$$\varepsilon_l = \frac{A}{m} = \frac{\omega \cdot l \cdot g \cdot \rho \cdot i \cdot l}{\omega \cdot l \cdot \rho} = g \cdot i \cdot l \frac{R}{R} = v_*^2 \frac{l}{R}. \quad (3)$$

Величина динамической скорости v_* определяется как

$$v_* = v \sqrt{\frac{\lambda}{8}} = \sqrt{\frac{\tau_*}{\rho}}, \quad (4)$$

где v – средняя скорость потока (м/с); τ_* – касательные напряжения силы трения в потоке (Н/м²).

Из формул (3) и (4) следует, что величина удельной массовой диссипации потока ε_1 на участке трубы длиной l , имеющей гидравлический радиус R , прямо пропорционально зависит от произведения квадрата средней скорости потока v на коэффициент гидравлического трения λ . На рис. 1 представлены графики зависимости величины коэффициента гидравлического трения λ от значения числа Рейнольдса Re для труб круглого сечения, имеющих различную величину относительной шероховатости, полученные Г.А. Муриным [3].

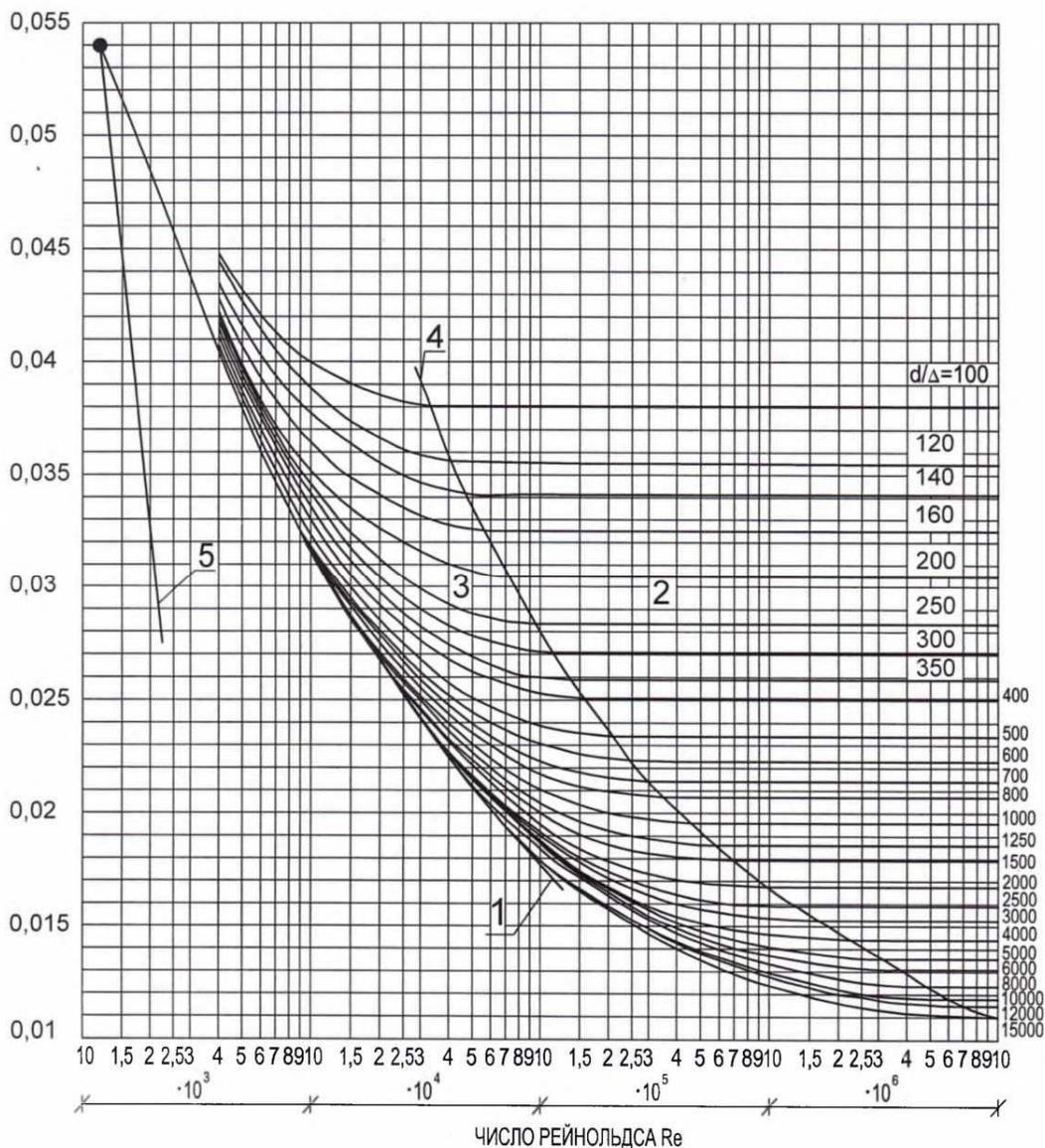


Рис. 1. График Г.А. Мурина:

- 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

Кривая 4 на рис. 1 характеризует местоположение точек перехода режима движения жидкости в область квадратичного закона сопротивления шероховатых русел (критических точек турбулентного режима). Работа трубчатого смесительного устройства в критической точке турбулентного режима отвечает условию рационального сочетания умеренного значения величины энергетических затрат на перекачивание жидкости с высокой интенсивностью процесса перемешивания.

Для критических точек турбулентного режима И. Никурадзе была предложена математическая зависимость

$$\Delta = \frac{2 N v}{v_{*kt}}, \quad (5)$$

где Δ – эквивалентная шероховатость русла потока (м); v – коэффициент кинематической вязкости воды (m^2/c); v_{*kt} – величина динамической скорости в критической точке турбулентного режима; N – число Никурадзе.

По экспериментальным данным, значения числа Никурадзе составляют $N=10,7-11,5$ [3].

Никурадзе было сделано допущение, что при турбулентном режиме движения жидкости в пристеночной области потока существует вязкий подслоя толщиной δ_* (м), при этом величина касательных напряжений в пределах подслоя является постоянной величиной ($\tau_* = \text{const}$), откуда в соответствии с законом вязкого трения Ньютона следует, что

$$\tau_* = \rho v \frac{du}{dy}, \quad (6)$$

где u – местная скорость потока (м/с) на расстоянии y (м) от стенки.

С учетом (4) можно записать

$$du = \frac{\tau_*}{\rho} \frac{dy}{v} = v_*^2 \frac{dy}{v}. \quad (7)$$

На расстоянии от стенки потока $y = \delta_*$ средняя величина местной скорости потока будет равна $u = u_*$.

С учетом $\frac{du}{dy} \approx \frac{u_*}{\delta_*}$ из (7) имеем

$$\delta_* = \frac{u_*}{v_*} \frac{v}{v_*}. \quad (8)$$

Отношение $\frac{u_*}{v_*}$ принято называть числом Никурадзе и обозначать N , тогда

$$\delta_* = N \frac{v}{v_*}. \quad (9)$$

Никурадзе было сделано предположение, что в рассматриваемых им критических точках турбулентного потока толщина вязкого подслоя δ_* (м) в два раза меньше величины эквивалентной шероховатости (рис. 2):

$$\delta_* = \frac{1}{2} \Delta. \quad (10)$$

Из (9) с учетом (10) Никурадзе была получена формула (5).

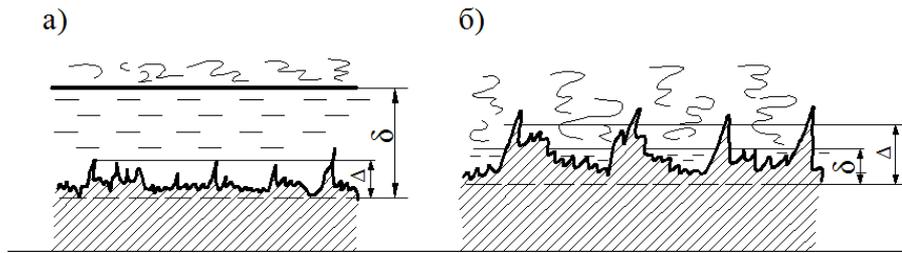


Рис.2. Схема вязкого пристеночного подслоя в гидравлически гладких (а) и шероховатых трубах при $v=v_{кт}$ (м/с) и $\delta_* = \frac{1}{2} \Delta$ по представлениям И. Никурадзе (б)

Из (5) с учетом формулы (4) можно вывести формулу для определения величины коэффициента гидравлического трения $\lambda_{кт}$ в критической точке турбулентного режима

$$\lambda_{кт} = 8 \left(\frac{2 N v}{\Delta v_{кт}} \right)^2. \quad (11)$$

В связи с тем, что при переходе режима течения жидкости в область квадратичного закона сопротивления величина критического числа Рейнольдса $Re_{кт}$ будет определяться значением эквивалентной шероховатости, нами было предложено использовать модифицированное число Рейнольдса $Re_{\Delta кт}$, в котором в качестве линейного размера принята величина эквивалентной шероховатости Δ :

$$Re_{\Delta кт} = \frac{v_{кт} \cdot \Delta}{\nu}. \quad (12)$$

С учетом формулы (12) формула (11) запишется в виде

$$\lambda_{\Delta кт} = 32 \left(\frac{N}{Re_{\Delta кт}} \right)^2. \quad (13)$$

При ламинарном режиме движения жидкости в трубе круглого сечения величина коэффициента гидравлического трения $\lambda_{лам}$ не зависит от величины эквивалентной шероховатости русла потока Δ (м) и определяется только значением числа Рейнольса Re :

$$\lambda_{лам} = \frac{64}{Re}, \quad (14)$$

где $Re = \frac{v d}{\nu}$. (15)

В области квадратичного закона сопротивления шероховатых русел для определения величины коэффициента гидравлического трения принято использовать формулу Л. Прандтля

$$\lambda_{кв} = \frac{0,25}{\left(\lg 3,7 \frac{d}{\Delta} \right)^2}. \quad (16)$$

Анализ данных, представленных на рис. 1, позволил нам получить формулу для определения величины коэффициента гидравлического трения $\lambda_{\text{кт}}$ в точке перехода режима течения жидкости в область квадратичного закона

$$\lambda_{\text{кт}} = \left(\frac{64}{\text{Re}_{\Delta\text{кт}}} \right)^2. \quad (17)$$

По аналогии с формулой для определения величины гидравлического трения $\lambda_{\text{лам}}$ при ламинарном режиме движения жидкости (14) формула (17) свидетельствует о том, что в критических точках турбулентного режима величина коэффициента гидравлического трения $\lambda_{\text{кт}}$ не зависит от диаметра трубы d (м), а определяется только значением модифицированного числа Рейнольдса $\text{Re}_{\Delta\text{кт}}$, вычисляемого по формуле (12).

Из формул (13) и (17) имеем

$$32 \left(\frac{N}{\text{Re}_{\Delta\text{кт}}} \right)^2 = \left(\frac{64}{\text{Re}_{\Delta\text{кт}}} \right)^2.$$

Откуда может быть определено точное значение числа Никурадзе

$$N = \frac{64}{\sqrt{32}} = 11,31371.$$

Из формул (12) и (15) следует, что

$$\text{Re}_{\Delta\text{кт}} = \text{Re}_{\text{кт}} \frac{\Delta}{d}. \quad (18)$$

С учетом (18) формула (17) может быть записана как

$$\lambda_{\text{кт}} = \left(\frac{64}{\text{Re}_{\text{кт}}} \frac{d}{\Delta} \right)^2. \quad (19)$$

Откуда

$$\text{Re}_{\text{кт}} = \frac{64}{\sqrt{\lambda_{\text{кт}}}} \frac{d}{\Delta}. \quad (20)$$

Поскольку в области квадратичного закона сопротивлений шероховатых русел $\lambda_{\text{кт}} = \lambda_{\text{кв}} = \text{const}$, величина $\lambda_{\text{кт}}$ может быть определена по формуле (16), что позволит при данном соотношении $\frac{d}{\Delta}$ вычислить по формуле (20) значения величины $\text{Re}_{\text{кт}}$.

Кривая 4, представленная на рис. 1, была построена с использованием формул (16) и (20). На кривой 4 располагаются точки, разделяющие переходную область и область квадратичного закона сопротивлений для труб круглого сечения с различными значениями отношений $\frac{d}{\Delta}$, которым соответствуют критические числа Рейнольдса для турбулентного режима $\text{Re}_{\text{кт}}$, характеризующие начало режима развитой турбулентности.

Определив область рационального режима работы трубчатого смесительного устройства (местоположение на кривой 4, рис. 1) с использованием формул (16) и (20), можно обеспечить высокую эффективность процесса перемешивания при умеренных энергозатратах на перекачивание жидкости.

1. К вопросу гидравлического расчета трубчатого гидродинамического флокулятора / С.Ю. Андреев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №1. – С.107–114.
2. Математическое моделирование процесса работы трубчатого гидродинамического смесительного устройства / С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев, Г.П. Давыдов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №1. – С.124–131.
3. Калицун, В.И. Гидравлика, водоснабжение и канализация / В.И. Калицун, В.С. Кедров. – М.: Стройздат, 2002. – 394 с.

References

1. To the question of hydraulics computation of pipe hydrodynamic flocculator / S.Yu. Andreev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2013. – No.1. – P. 107–114.
2. Mathematical modeling of tubular hydrodynamic mixing device operation / S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, V.A. Knyazev, G.P. Davydov // Regional architecture and engineering. – 2017. – No.1. – P. 124–131.
3. Kalitsun, V.I. Hydraulics, water supply and sewerage / V.I. Kalitsun, V.S. Kedrov. – M.: Srtoyizdat, 2002. – 394 p.

УДК 691.3; 502

Самарский государственный технический университет

Россия, 443100, г. Самара,
ул. Молодогвардейская, д.244,
тел.: (846) 278-44-00

Чертес Константин Львович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Химическая технология и
промышленная экология»
E-mail: chertes2007@yandex.ru

Мартыненко Елена Геннадьевна,
аспирант кафедры «Химическая технология
и промышленная экология»
E-mail: lena030191@yandex.ru

Сафонова Наталия Александровна,
кандидат технических наук, старший
научный сотрудник научно-аналитического
центра промышленной экологии
E-mail: olgatupicyna@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

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Samara State Technical University

Russia, 443100, Samara, 244,
Young Guard St.,
tel.: (846) 278-44-00

Chertes Konstantin Lvovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
Department «Chemical Technology and
Industrial Ecology»
E-mail: chertes2007@yandex.ru

Martynenko Elena Gennadyevna,
Postgraduate student of the department of
«Chemical Technology and Industrial Ecology»
E-mail: lena030191@yandex.ru

Safonova Natalia Alexandrovna,
Candidate of Sciences, Senior Researcher of
the Scientific and Analytical Center of
Industrial Ecology
E-mail: olgatupicyna@yandex.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Grishin Boris Mikhailovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ШЛАМОВЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕД ИХ УТИЛИЗАЦИЕЙ В СТРОИТЕЛЬНО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

К.Л. Чертес, Е.Г. Мартыненко, Н.А. Сафонова, Б.М. Гришин

Изучены методы геоконтейнерного и центробежного обезвоживания шламовых отходов различного генезиса. Представлены кинетические зависимости протекания процесса обезвоживания для каждого метода. Рассмотрены качественный и количественный составы кека и иловой воды. Предложена технологическая схема обработки и утилизации буровых шламов с целью получения строительных материалов.

Ключевые слова: шламовые отходы, обезвоживание, утилизация отходов бурения

COMPARATIVE ANALYSIS OF DEHYDRATION OF SLIME WASTES BEFORE THEIR UTILIZATION IN CONSTRUCTIVE ACTIVITY

K.L. Chertes, E.G. Martynenko, N.A. Safonova, B.M. Grishin

Methods of geocontainer and centrifugal dehydration of slime wastes of various genesis have been studied. Kinetic dependences of the dehydration process for each method are presented. Qualitative and quantitative composition of sludge cake and silt water is considered. A technological

scheme for processing and utilization of drill cuttings for the purpose of obtaining building materials is proposed.

Keywords: sludge waste, dehydration, drilling cuttings utilization

Перспективным методом утилизации шламов выступает их использование в качестве сырья для производства грунтоподобных рекультивационных строительных материалов (ГРСМ) техногенного происхождения. Основные виды ГРСМ на основе шламовых отходов представлены заполнителями выемок, выравнителями для вертикальной планировки территорий, барьеро- и структурообразователями, формирующими такие элементы восстановления нарушенной геосреды, как отсекающие дамбы и призмы выполаживания откосов. В отдельном ряду выступают ГРСМ-упрочнители, предназначенные для формирования подложек под временные технологические дороги, а также искусственных грунтовых оснований при строительстве объектов пониженной степени ответственности [1,2].

Состав шламовых отходов на основе изъятых из горной толщи пород способствует их вовлечению в техногенные грунты благодаря таким структурообразующим показателям, как плотность скелета, влажность, связность, пластичность, пористость, адгезионные характеристики [3]. Однако их влажность в диапазоне от 75 до 95 % не позволяет достичь значений модуля деформации, регламентированных нормативной документацией [2, 4]. В связи с этим предварительным этапом подготовки и последующей утилизации шламов в качестве ГРСМ выступает их обезвоживание.

Выбор метода обезвоживания зависит от ресурсно-сырьевых, геоэкологических и технологических особенностей целевого использования техногенных ГРСМ и освоения восстанавливаемых территорий.

Методы геоконтейнерной обработки и центрифугирования достаточно хорошо известны и применяются для обезвоживания таких видов жидких и пастообразных отходов, как осадки водоподготовки и сточных вод, шламы химической, целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности [5, 6]. Известно использование декантерных и трикантерных центрифуг для разделения нефтешламов, озерных илов и сапропелей, а также других видов отходов органо-минеральной природы [7].

Буровые шламы и их смеси с отработанными растворами отличаются от перечисленных выше отходов высокой плотностью, прочностью скелета, а также более широким диапазоном показателей химического состава. Между тем в существующей литературе недостаточно сведений по обработке и утилизации буровых шламов в ГРСМ с использованием высокотехнологичных методов их предварительной подготовки. В этой связи актуальным представляется создание технологических основ обезвоживания буровых шламов, а также влажных отходов хвостохранилищ применительно к их дальнейшему использованию для восстановления и последующего освоения территорий, нарушенных строительной-хозяйственной деятельностью.

Целью выполненной работы выступает создание технологии обезвоживания шламовых отходов как метода их предварительной подготовки к утилизации в строительной-хозяйственной деятельности с минимальным воздействием на геосреду.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Сравнение методов геоконтейнерного и центробежного обезвоживания применительно к ресурсно-сырьевым и природно-климатическим особенностям восстанавливаемых территорий.

2. Изучение кинетических закономерностей обезвоживания шламовых отходов, сформированных извлеченной из толщи горной породой, с учетом качества и функционального назначения конечного продукта – заполнителей, выравнителей, структуро- и барьерообразователей, упрочнителей.

3. Исследование качественного состава иловой воды, полученной в процессе разделения суспензий на основе смеси извлеченной горной породы и отработанного бурового раствора, а именно:

- фильтраата при обезвоживании шлама в замкнутых оболочках односторонней проводимости с постепенно наращиваемым намывным слоем;
- фугата центрифугирования шламов.

4. Конструктивное оформление комплексов производства ГПСМ с узлами геоконтейнерного и центробежного обезвоживания, а также их сочетания в единой технологической цепочке обработки шламовых отходов.

Объектом исследования выступили образцы буровых шламов нефтегазовых месторождений Красноярского края и Среднего Поволжья. Данные виды шламов являются типичными представителями гетерофазных отходов с агрегатным состоянием от жидкого до пастообразного в диапазоне влажностей 75,0–90,0 ($\pm 5,0$ %). Отходы сформированы извлеченной на поверхность с глубин 1500–4500 м смесью минеральной породы и отработанного бурового раствора органо-минерального происхождения, марок BOREMAX, Poly Plus, Flo Thru, Baradril-N.

Возраст исследуемых образцов колебался в пределах от 1,0 часа до 3 суток (свежий шлам после буровой установки) и до 0,5–3,0 лет (длительное пребывание в амбарах). Длительное пребывание шламовых тел в накопителях сопровождалось их фазовым расслоением за счет седиментации, обводнения атмосферными осадками, испарения с поверхности, уплотнения и частичной фильтрационной консолидации шламовых тел.

Состав и основные характеристики изученных образцов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Основные характеристики исследуемых образцов

Показатель	Ед. изм.	Нормативный документ на методику выполнения измерений	Диапазон значений показателя для нефтегазовых месторождений	
			Красноярский край	Среднее Поволжье
Влажность	% _{масс}	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.27-02	73,8-84,2	86,1 – 94,6
Гранулометрический состав, содержание частиц размером:	% по весу	ГОСТ 12536–79		
< 0,005 мм			35 – 50	40 -65
0,005-0,05 мм			30 -53	25 – 45
0,05-0,25 мм			5 -20	3 – 10
Преобладающий тип выбуренной горной породы	-	Анализ геологического разреза	Глинистые	Гравелистые
Плотность насыпная	т/м ³	ГОСТ 22733-2002	1,5-1,9	1,1-1,4
Плотность скелета	т/м ³		2,1-2,9	1,7-2,1
Содержание нефти и нефтепродуктов	мг/кг	ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 (издание 2005 г.)	862,31 – 11805,63	956,01 – 13643,03
Содержание АПАВ	мг/кг ³	ПНД Ф 14.1:2:4.194-2003	116,09 – 408,01	33,6 – 97,9
Удельное сопротивление фильтрации, $\cdot 10^{-10}$	см/г		9 879 – 15 934	3 760 – 6 435

Предметом исследования выступило лабораторное и полупромышленное изучение кинетических закономерностей обезвоживания шламовых отходов с использованием центрифугирования и фильтрации через замкнутую пористую оболочку односторонней проводимости.

Отдельные технические характеристики приборно-аппаратурного оснащения исследований представлены в табл. 2-3.

Основные технические характеристики текстильных фильтрующих оболочек

Наименование показателя	Ед.изм.	Значения показателей фильтрующих оболочек	
		Лабораторные условия	Полупромышленные условия
Марка		ДЕЛЬТА™Т	ГЕОТУБ®80 GT500D
Материал		Полимерное полотно	
Объем	м ³	0,01	20
Толщина мембраны	мм	2	2
Плотность полотна	г/м ²	365	535
Открытый диаметр пор	мкм	380	375
Разрывные нагрузки	кН/м	85	70
Фильтрующая способность, максимальный размер частиц, прошедших через испытываемые образцы	мм	0,390	0,385
Водопроницаемость перпендикулярно к плоскости материала	дм ³ /(м ² ·с)	20	16
Диапазон времени наблюдения	сут	10 – 14 (±0,1)	60-90 (±1,0)

Т а б л и ц а 3

Основные технические характеристики центрифуг

Наименование показателя	Ед.изм.	Значения показателей фильтрующих оболочек	
		Лабораторные условия	Полупромышленные условия
Марка	-	ОПн-3.02	Derrick DE-1000 FHD
Диаметр ротора	мм	300	356
Скорость вращения	об/мин	1000,1500,3000	800 – 3850
Фактор разделения	-	до 1520	до 1800

В лабораторных и полупромышленных условиях, на геоконтейнерах объемом 10 л и 10 м³ соответственно, изучали кинетику обезвоживания для шести образцов буровых шламов различной влажности, генезиса и возраста. Часть «накопленных» в амбаре шламов подверглась 1–3 циклам промораживания (в зимний период) и последующего оттаивания.

Интенсивность геоконтейнерного обезвоживания определялась по эффекту снижения влажности исходных образцов:

$$\mathcal{E}_w = \frac{W_{исх} - W_k}{W_{исх}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где $W_{исх}$ – исходная влажность бурового шлама, %; W_k – влажность кека после обезвоживания, %.

Результаты исследований по обезвоживанию исследуемых образцов представлены на рис. 1.

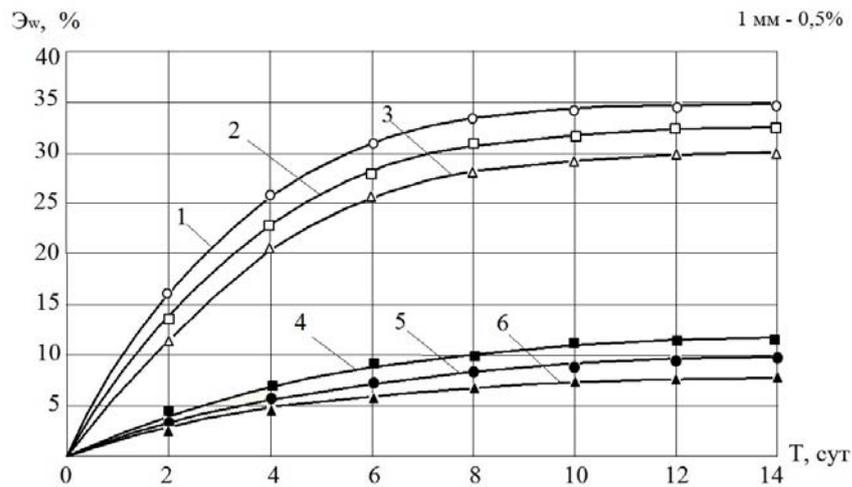


Рис. 1. Кинетика геоконтейнерного обезвоживания образцов буровых шламов с различными параметрами состояния:

- 1 – буровой шлам месторождения Среднего Поволжья из накопителя после 3 сезонов промораживания и последующего оттаивания, $W_{исх} = 89,3 (\pm 0,5) \%$; 2 – буровой шлам месторождения Среднего Поволжья из накопителя сроком пребывания менее 1 сезона (без промораживания), $W_{исх} = 92,5 (\pm 0,5) \%$; 3 – свежий буровой шлам месторождения Среднего Поволжья, $W_{исх} = 95,02 (\pm 0,5) \%$; 4 – буровой шлам месторождения Красноярского края из накопителя после 3 сезонов промораживания и последующего оттаивания, $W_{исх} = 75,0 (\pm 0,5) \%$; 5 – буровой шлам месторождения Красноярского края из накопителя сроком пребывания менее 1 сезона (с промораживанием), $W_{исх} = 79,7 (\pm 0,5) \%$; 6 – свежий буровой шлам месторождения Красноярского края, $W_{исх} = 84,3 (\pm 0,5) \%$

Наиболее интенсивное геоконтейнерное обезвоживание наблюдалось в образцах бурового шлама на основе гравелистых выбуренных горных пород, прошедших до 3 циклов промораживания и оттаивания в шламовом амбаре. Это объясняется величиной удельной активной поверхности гравелистой породы не более $22 \cdot 10^3 - 60 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{м}^3$, а также практически полным переводом механически связанной влаги в порах, трещинах и капиллярах образцов в свободное состояние [8]. В «свежих» образцах аналогичной природы геоконтейнерное обезвоживание происходило менее интенсивно из-за присутствия полимерных соединений с преобладанием АПАВ в буровом растворе.

В образцах месторождений Красноярского края, представленных в основном глинистыми породами с активной поверхностью $121 \cdot 10^3 - 330 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{м}^3$, процесс обезвоживания протекал менее интенсивно. Основными причинами здесь выступили меньшее значение исходной влажности и природа тонкодисперсной выбуренной горной породы.

В исследуемых образцах более 50 % свободной воды отфильтровалось через 1-3 суток наблюдения. Далее фильтрация происходила через формируемый на внутренней поверхности оболочки «намывной слой», размеры пор которого на порядок меньше аналогичных показателей полимерной мембраны и составляют $700 - 1200 (\pm 50) \text{ мкм}$. В условиях динамически нестационарного или «стесненного» намывным слоем фильтрация скорость оттока жидкой фазы уменьшилась, а графическая интерпретация эффекта снижения влажности перешла к более пологому характеру.

В лабораторных образцах «свежих» буровых шламов № 3 и № 6 влажность кека на 14-е сутки наблюдения составила $66,7 (\pm 0,5) \%$ и $78,1 (\pm 0,5) \%$ соответственно. В данном случае геоконтейнерное обезвоживание признано неэффективным из-за низкой водоотдачи шлама. Целесообразна интенсификация процесса обезвоживания

«свежих» шламов с использованием методов кондиционирования или промораживания и последующего оттаивания.

Применение метода кондиционирования в большинстве случаев является нерациональным. В первую очередь это связано с созданием на базе буровой площадки дополнительных сооружений реагентного хозяйства. В связи с этим интенсификацию процесса обезвоживания буровых шламов целесообразно проводить с использованием метода промораживания и последующего оттаивания в накопителе (см. рис. 1, образцы №1 и №4).

Значения конечной влажности кека исследуемых образцов №1 и №4, извлеченных из лабораторных геоконтейнеров на 14-е сутки наблюдения, составили 58,2 ($\pm 0,5$) % и 66,4 ($\pm 0,5$) % соответственно. В данных образцах произошло снижение потенциала на границе раздела фаз из-за перевода структурной влаги в свободное состояние, а также частичного химического разложения органической составляющей бурового раствора. Водоотдача данных образцов происходила наиболее интенсивно.

Основные характеристики качества кека и фильтрата, а также их показатели представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Показатели качества кека и фильтрата,
полученных при геоконтейнерном обезвоживании образцов

№ образца	Геоконтейнерное обезвоживание							
	Значения показателей кека					Фильтрат		
	$W_{\text{кека}}, \%$ масс	$\rho, \text{г/см}^3$	$E, \text{МПа}$	$C_{\text{н/п}}, \%$ масс	$Mp, \text{д.ед}$	$C_{\text{в.в.}}, \text{мг/л}$	ХПК, $\text{мгO}_2/\text{л}$	$C_{\text{н/п}}, \%$ масс
1	58,2	1,7	1,05	0,95	5-8	4,2	31	следы
2	62,5	1,6	0,89	0,87	4-7	3,7	35	следы
3	66,7	1,3	0,65	0,86	1-5	2,9	37	следы
4	66,4	2,1	0,31	0,67	18-23	5,6	43	0,0001
5	72,2	1,8	0,35	0,64	16-21	4,9	59	0,001
6	78,1	1,6	0,40	0,59	15-20	3,7	88	0,002

П р и м е ч а н и е . $C_{\text{в.в.}}$ – концентрация взвешенных веществ; $C_{\text{н/п}}$ – концентрация нефтепродуктов.

Обезвоживание в промышленных геоконтейнерах объемом по 20,0 м³ каждый было выполнено для сопоставления с результатами лабораторных испытаний, а также их верификации (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Основные результаты, полученные при геоконтейнерной обработке осадков буровых сточных вод в лабораторном и полупромышленном экспериментах

Сравнительные показатели	Ед. изм.	Буровые шламы нефтегазовых месторождений Среднего Поволжья		Буровые шламы нефтегазовых месторождений Красноярского края	
		Лабораторный эксперимент	Полупромышленный эксперимент	Лабораторный эксперимент	Полупромышленный эксперимент
		$V_{\text{загр.}}$	л	10	20000
$T_{\text{обработки}}$	сут.	14	98	10	92
$W_{\text{исх.ср.}}$	%	92,6	91,4	80,2	79,5
$W_{\text{конеч.ср.}}$	%	62,5	65,8	72,2	75,4

Анализ центробежного обезвоживания исследуемых образцов в лабораторных условиях осуществлялся с использованием центрифуги ОП-302. Центробежному обезвоживанию подвергались образцы буровых шламов №1-6 объемом 25 мл каждый.

Эксперименты проводились в два этапа. На первом этапе исследовалось безреагентное центрифугирование образцов буровых шламов, на втором этапе испытывались образцы, предварительно обработанные кондиционирующей добавкой (флокулянт) в дозах 0,5 % от массы сухого вещества шлама. В качестве флокулянта использовался сильнокатионный полимер акриламида К-555 (серия АК-636). Центрифугирование образцов осуществлялось при значениях фактора разделения Fr 500, 1000 и 1500 и времени обработки $\tau=10$ мин. Экспериментальные данные по отжиму образца №1 с $W_{исх}=92,5$ % показаны на рис. 2.

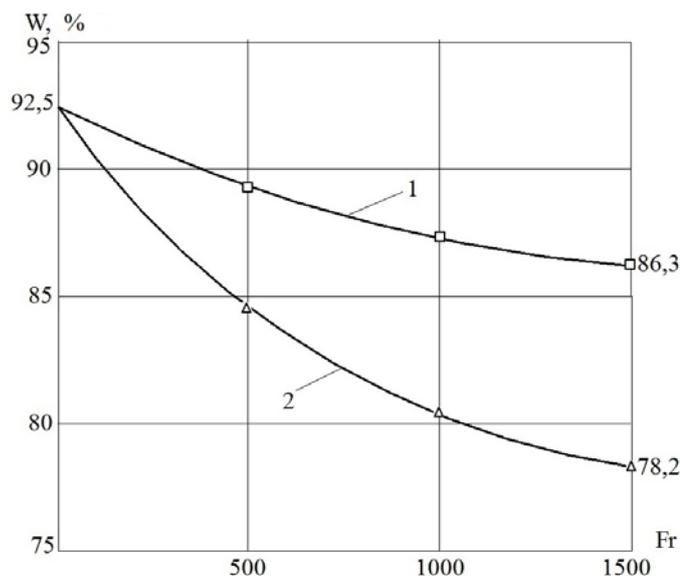


Рис. 2. Изменение влажности образца №1 бурового шлама в зависимости от фактора разделения центрифуги при времени обработки $\tau=10$ мин:

1 – безреагентное центрифугирование; 2 – реагентное центрифугирование

Анализ полученных результатов показывает, что реагентная обработка образцов флокулянт позволила значительно снизить влажность обезвоженного шлама (см. график 2, рис. 2). При этом значительная часть мелкодисперсных фракций взвеси выходила в фугат, что можно объяснить их относительно невысокой плотностью по сравнению с жидкой фазой (не более $1,01 - 1,05$ т/м³) и дополнительным побуждением к выносу взвеси со стороны еще более легкой полимерной составляющей бурового раствора (менее $0,5$ т/м³).

Реагентное центрифугирование позволило получить фугат, качество которого отличалось более высокими показателями по сравнению с безреагентным (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Основные показатели качества фугата после центробежного обезвоживания при $Fr=1500$ и $\tau=10$ мин

№ образца	Безреагентное центрифугирование				Реагентное центрифугирование			
	$V_{фугат}$, мл	$C_{в.в.}$, мг/л	ХПК, мгО ₂ /л	$C_{н/п}$, % масс	$V_{фугат}$, мл	$C_{в.в.}$, мг/л	ХПК, мгО ₂ /л	$C_{н/п}$, % масс
1	11,2	18,3	59	0,0001	16,4	6,3	35	0,001
2	10,5	17,6	60	0,001	15,8	7,2	62	0,001
3	8,5	16,7	88	0,002	13,9	5,1	93	0,002
4	8,1	22,1	92	0,001	12,0	7,9	63	0,002
5	5,2	19,2	151	0,002	11,2	6,9	95	0,003
6	3,9	17,5	342	0,003	9,5	5,8	152	0,01

На промышленной центрифуге влажность кека для фактора разделения $Fr=1800$ составила более 70 % при 92-94 % исходного значения.

Очевидным достоинством механического обезвоживания буровых шламов выступает его высокая производительность и технологичность. При этом возрастают затраты на строительство стационарных цехов центрифугирования.

Стоит учесть, что достаточно высокая влажность кека при центробежном обезвоживании, по сравнению с геоконтейнерным фильтрованием, имеет и позитивную особенность. При последующей возможной необходимости упрочнения полученного кека его влажность позволит создать благоприятные условия для достижения рационального водоцементного соотношения при введении вяжущих добавок.

Исследования по обезвоживанию шламовых отходов в неоднородных условиях сырья и среды с использованием различных методов позволили разработать технологическую схему предварительной подготовки сырья к утилизации и выполнить конструктивно-строительное оформление комплекса реконструкции отработанного шламового амбара в сооружения по производству ГРСМ для восстановления нарушенной геосреды (рис. 3).

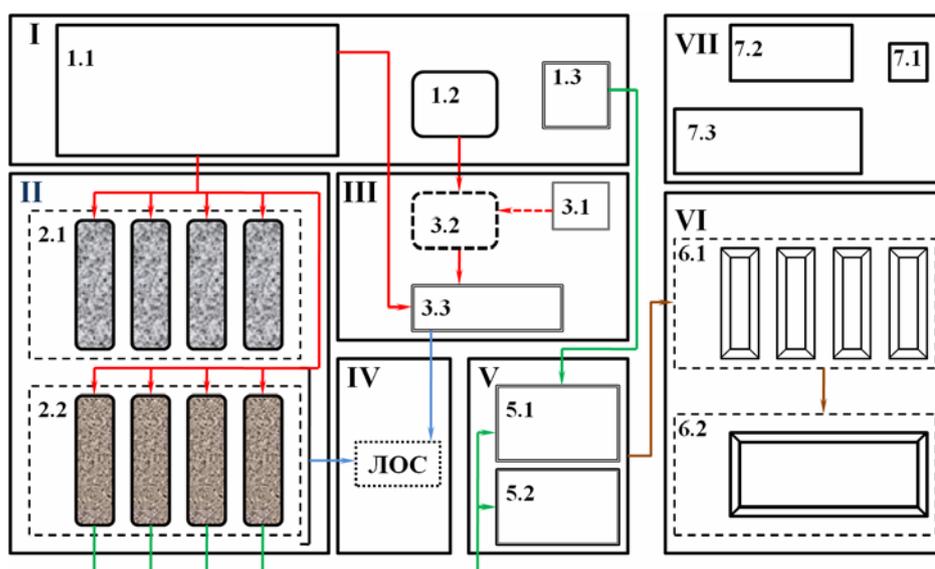


Рис. 3. Конструктивно-технологическое оформление комплекса по производству ГРСМ на основе отходов бурения:

- I – зона временного хранения отходов бурения; II – зона геоконтейнерной обработки шламов;
 III – зона центрифугирования; IV – зона сооружений локальной очистки иловой воды;
 V – зона приготовления шламоцементной смеси; VI – зона упрочнения и временного хранения ГРСМ; VII – административно-бытовая зона;

- 1.1 – буровой амбар; 1.2 – резервуар бурового шлама после лотка;
 1.3 – склад некондиционного тампонажного цемента; 2.1 – геоконтейнеры в процессе фильтратовыделения; 2.2 – геоконтейнеры в процессе консолидации; 3.1 – реакгентное хозяйство; 3.2 – узел смешения шлама с кондиционирующими добавками; 3.3 – установка центрифугирования; 5.1 – участок механизированного перемешивания (экскаватор);
 5.2 – стационарный смеситель; 6.1 – участок упрочнения шламоцементной смеси;
 6.2 – участок временного хранения готового продукта; 7.1 – КПП; 7.2 – АБК;
 7.3 – площадка стоянки техники

Выводы

1. Получены экспериментальные данные по кинетике обезвоживания буровых шламов в лабораторных и промышленных геоконтейнерах, позволяющие оценить эффективность водоотдачи образцов при различных методах их предварительной обработки.

2. Изучены кинетические закономерности обезвоживания буровых шламов в осадительных центрифугах при факторе разделения до 1800. Установлено, что предварительная реагентная обработка образцов шлама раствором флокулянта К-555 с дозами 0,5 % по массе сухого вещества позволяет получить более высокие показатели качества полученного фугата по сравнению с безреагентным центрифугированием.

3. На основе проведенных исследований предложена технологическая схема обработки и утилизации буровых шламов для получения грунтоподобных рекультивационных строительных материалов с использованием геоконтейнеров и центрифуг.

Список литературы

1. СП-50-101–2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.
2. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
3. Рядинский, В.Ю. Способы утилизации буровых отходов / В.Ю.Рядинский, Ю.В. Денек // Горные ведомости. – 2004. – № 4. – С. 82–90.
4. ГОСТ 20522–96. Методы статистической обработки результатов испытаний.
5. Очистка производственных сточных вод / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.
6. Туровский, И.С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание / И.С. Туровский. – М.: Стройиздат, 2008. – 375 с.
7. Повышение экологической безопасности в нефтегазовой отрасли путем разработки способа переработки нефтешлама / С.В. Леонтьева, З.А. Закирова, О.В. Смородова, А.С. Воробьева // Уральский экологический вестник. – 2014. – №2. – С. 22.
8. Щукин, Е.Д. Коллоидная химия / Е.Д.Щукин, А.В.Перцов, Е.А. Амелина. – М.: Изд-во Московского гос. ун-та, 1982. – 382 с.

References

1. SP-50-101–2004. Design and construction of foundations and foundations of buildings and structures.
2. SP 22.13330.2011. The foundations of buildings and structures. Updated version of SNiP 2.02.01-83*.
3. Ryadinsky, V.Yu. Ways of disposal of drilling waste / V.Yu.Ryadinsky, Yu.V. Deneko // Mountain sheets. – 2004. – No. 4. – P. 82–90.
4. GOST 20522–96. Methods of statistical processing of test results.
5. Industrial wastewater treatment / S.V. Yakovlev, Ya.A. Karelin, Yu.M. Laskov, Yu.V. Ravens. — Moscow: Stroiizdat, 1979. — 320 p.
6. Turovsky, I.S. Sewage sludge. Dehydration and decontamination / I.S. Turovsky. — Moscow: Stroiizdat, 2008. — 375 p.
7. Enhancing environmental safety in the oil and gas industry by developing a method for processing oil sludge / S.V. Leontief, Z.A. Zakirova, O.V. Smorodova, A.S. Vorob'eva // Urals Ecological Herald. – 2014. – №2. – P. 22.
8. Shchukin, E.D. Colloid chemistry / E.D. Shchukin, A.V.Pertsov, E.A. Amelina. – М.: Publishing House of Moscow State University, 1982. – 382 p.

УДК 628.3

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Андреев Сергей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Шеин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Механика»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Князев Владимир Александрович,
аспирант кафедры «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Andreev Sergey Yuryevich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: andreev3007@rambler.ru

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

Shein Alexander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the Department «Mechanics»
E-mail: shein-ai@yandex.ru

Knyazev Vladimir Aleksandrovich,
Postgraduate of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА МАССОПЕРЕДАЧИ В ОБЪЕМЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ДВУХФАЗНОЙ СМЕСИ «ВОДА – ВОЗДУХ»

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, А.И.Шеин, В.А. Князев

Приведены результаты теоретических исследований процесса массопередачи в динамической двухфазной смеси «вода – воздух». Получено уравнение, позволяющее определять оптимальные параметры систем аэрирования и барботирования сточных вод. Использование предложенной методики расчета позволит оптимизировать процесс работы пневматических аэраторов и снизить удельные энергозатраты на очистку сточных вод.

Ключевые слова: коэффициент массопередачи; водовоздушная смесь; коэффициент газонаполнения; скорость массопередачи; диспергированная газовая фаза; воздухораспределительное устройство

THEORETICAL BASIS OF MASS TRANSFER PROCESS IN THE VOLUME OF DYNAMIC TWO-PHASE MIXTURE "WATER-AIR"

S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, A.I. Shein, V.A. Knyazev

The results of the theoretical studies of a mass transfer process in the dynamic two-phase mixture «water-air» are given. The equation is obtained allowing to determine optimum parameters of sewage aeration and barbotage systems. The use of the offered calculation method allows to optimize the work process of pneumatic aerators and to reduce specific power inputs for sewage treatment.

Keywords: mass transfer coefficient; water-air mixture; gas-filling coefficient; mass transfer rate; dispersed gas phase; air distribution device

Динамической двухфазной системой «вода – воздух» является система, в которой сплошной средой является жидкость – вода, а диспергированной фазой газ – воздух. Поскольку плотность газовой фазы существенно меньше плотности жидкости, на

пузырьки воздуха действует сила Архимеда, выталкивающая их на поверхность, в связи с чем динамическая двухфазная система может существовать лишь в процессе движения.

В процессе движения пузырьки воздуха непрерывно всплывают к поверхности воды, где происходит практически мгновенный разрыв их оболочек (при отсутствии в воде ПАВ). Состояние динамического равновесия в этом случае может сохраняться только при условии непрерывной подачи воздуха в жидкость, что позволит скомпенсировать убыль газовой фазы.

Технологические операции, в которых используется барботаж газовой смеси через слой жидкости, весьма разнообразны. Теоретический анализ всего многообразия процессов, связанных с генерацией и технологическим использованием динамических двухфазовых систем «вода – воздух», позволяет выделить четыре их основных вида:

1. Процессы, обуславливаемые специфическим гидродинамическим перемешиванием локальных объемов жидкости, прилегающих к поверхности всплывающего пузырька воздуха.

2. Образование границы раздела фаз (воздух – вода), обладающей избыточной поверхностной энергией.

3. Десорбция (отдувка) из воды растворенных в ней газов и других летучих соединений.

4. Насыщение воды кислородом и другими содержащимися в воздушной смеси соединениями.

В основе процессов массопередачи в динамической двухфазной системе «вода – воздух» лежит механизм межмолекулярной диффузии через пограничный слой, образующийся на поверхности диспергированной газовой фазы. В середине XIX века трудами Фика, установившего физическую аналогию процессов диффузии газа через границу раздела фаз и теплопередачи, было положено начало систематическому изучению механизма массопередачи. Для количественного описания скорости диффузионного переноса газа через стенки воздушного пузырька было использовано уравнение Фурье

$$\frac{dm}{dt} = -DA \frac{dC}{dy}, \quad (1)$$

где $\frac{dm}{dt}$ – скорость процесса массопередачи, кг/с; D – коэффициент диффузии газа через границу раздела фаз «вода – воздух» (относительное количество газа, переносимое через единицу поверхности контакта фаз), м²/с; A – площадь поверхности межфазового контакта, м²; $\frac{dC}{dy}$ – градиент концентрации растворенного газа в направлении диффузии (в нормальном направлении к площади диффузии), кг/м⁴.

Общее решение уравнения диффузии (1) имеет вид:

$$\frac{dm}{dt} = K_L A (C_H - C), \quad (2)$$

где K_L – коэффициент массопередачи жидкой пленки (пленочный коэффициент массопередачи), м/с; C_H – концентрация насыщения жидкости газом кг/м³; C – концентрация растворенного в жидкости газа, кг/м³.

Движущей силой процесса массопередачи через границу раздела фаз в всплывающем в воде пузырьке воздуха является разность концентрации насыщения воды газом C_H и текущей концентрации газа в жидкости C (кг/м³) [1, 2].

Концентрация насыщения воды газом C_H (кг/м³) зависит от концентрации газа в воздухе внутри пузырька C_T (кг/м³), давления P (Па) и температуры t (°C) [3].

При барботировании жидкости чистым газом величина концентрации насыщения воды $C_{нг}$ (кг/м³) при нормальном давлении ($P=1,01 \cdot 10^5$ Па) связана с величиной коэффициента α (м³/м³) и плотностью газа ρ , кг/м³, соотношением

$$C_{нг} = \alpha \cdot \rho. \quad (3)$$

Коэффициент абсорбции Бунзена α характеризует величину объема газа, поглощенного единицей объема жидкости при данной температуре t (°C) и стандартном парциальном давлении газа ($P=1,01 \cdot 10^5$ Па).

При барботировании воды воздухом, содержащим в своем составе распределяемый газ в концентрации $C_{г}$ (кг/м³), величина концентрации насыщения воды газом $C_{н}$ (кг/м³) определяется как

$$C_{н} = \alpha \cdot C_{г}. \quad (4)$$

В случае, если разность концентрации насыщения воды газом $C_{н}$ и текущей концентрации газа C является положительной величиной, имеет место процесс сорбционного перехода газа из воздуха в жидкость; если эта разность является отрицательной величиной, то наблюдается процесс десорбции – перехода газа из воды в воздух.

Для практических расчетов процессов массопередачи газа через поверхность контакта фаз «вода – воздух» принято вместо пленочного коэффициента массопередачи K_L (м/с) применять объемный коэффициент массопередачи K_w (с⁻¹) и выражать скорость массопередачи в объемных единицах концентрации $\frac{dC}{dt}$ (кг/м³·с) [4]. В этом случае правая и левая часть уравнения (2) делится на объем барботируемой воды $W_{ж}$ (м³):

$$\frac{dm}{W_{ж} dt} = \frac{dC}{dt} = K_L \cdot \frac{A}{W_{ж}} (C_{н} - C) = K_w (C_{н} - C), \quad (5)$$

где $K_w = K_L \cdot \frac{A}{W_{ж}}$ – объемный коэффициент массопередачи, с⁻¹; $\frac{A}{W_{ж}}$ – удельная межфазовая площадь контакта фаз (площадь границы раздела фаз, приходящаяся на единицу объема воды, м²/м³); $W_{ж}$ – объем барботируемой воды, м³.

Разделяя переменные в уравнении (5) и интегрируя его в интервале изменения переменных dt от 0 до T и dC от C_0 до C , получим:

$$K_w = \frac{1}{T} \ln \frac{(C_{н} - C_0)}{C_{н} - C}, \quad (6)$$

где T – продолжительность процесса барботирования, с; $C_{н}$ – концентрация насыщения жидкости газом, кг/м³; C_0 – концентрация газа в воде в начальный момент барботирования, кг/м³; C – концентрация газа в воде в конечный момент барботирования, кг/м³.

Формула (6) широко используется при определении величины объемного коэффициента массопередачи методом переменного дефицита кислорода в процессе аэрации воды. Пневматическая аэрация является примером процесса сорбционного перехода газа из всплывающего пузырька воздуха в воду, обусловленного положительной величиной движущей силы этого процесса – разности концентрации насыщения воды газом $C_{н}$ и текущей концентрации газа в воде ($\Delta C = C_{н} - C$).

Текущая концентрация кислорода в воде в соответствии с формулой (6) в процессе пневматической аэрации может быть определена по формуле

$$C = C_{н} - e^{-K_w T} (C_{н} - C_0). \quad (7)$$

В формуле (7) предполагается, что концентрация насыщения воды кислородом воздуха $C_{н}$ является постоянной величиной. В реальности при всплывании пузырька

воздуха, в процессе массопередачи, концентрация кислорода C_Γ в газовой смеси внутри пузырька будет снижаться, что предполагает введение в формулу (7) коэффициента, учитывающего истощение газовой среды $K_{\text{И}}$.

Определить величину поправочного коэффициента (коэффициента истощения газовой фазы) можно, учитывая баланс масс сорбируемого газа в газовой и жидкой фазах:

$$\Delta m_{\text{ж}} = \Delta m_{\Gamma}, \quad (8)$$

$$\Delta C_{\text{ж}} W_{\text{ж}} = \Delta C_{\Gamma} W_{\Gamma}, \quad (9)$$

где $\Delta m_{\text{ж}}$ и Δm_{Γ} – соответственно масса кислорода, растворяемого в воде и адсорбируемого из воздуха через границу раздела фаз «вода – воздух» (кг) за время контакта фаз (продолжительность всплывания пузырька воздуха) $t_{\text{П}}$ (с); $\Delta C_{\text{ж}}$ и ΔC_{Γ} – изменение концентрации кислорода в воде и воздухе (кг/м³) за время $t_{\text{П}}$ (с); $W_{\text{ж}}$ и W_{Γ} – объемы жидкой и газовой фаз (м³) в водовоздушной смеси, образующейся в аэрационном бассейне.

Из (9) имеем

$$\Delta C_{\Gamma} = \Delta C_{\text{ж}} \frac{W_{\text{ж}}}{W_{\Gamma}} = \frac{\Delta C_{\text{ж}}}{\bar{W}}, \quad (10)$$

где $\bar{W} = \frac{W_{\Gamma}}{W_{\text{ж}}}$ – относительный объем водовоздушной смеси.

Средняя концентрация кислорода внутри пузырька воздуха $C_{\Gamma, \text{ср}}$ (кг/м³) за период его всплывания составит:

$$C_{\Gamma, \text{ср}} = C_{\Gamma} - \frac{\Delta C_{\Gamma}}{2} = C_{\Gamma} - \frac{\Delta C_{\text{ж}}}{2\bar{W}}. \quad (11)$$

С учетом (4) и (10) формула (5) может быть записана в виде

$$\frac{dC}{dt} = K_w \left[\alpha \left(C_{\Gamma} - \frac{\Delta C_{\text{ж}}}{2\bar{W}} \right) - C \right]. \quad (12)$$

Учитывая, что прирост концентрации кислорода в воде за период контакта газовой и жидкой фаз $t_{\text{П}}$ составит $\Delta C_{\text{ж}}$, разделяя переменные в уравнении (12), считая, что $C \approx \text{const}$ (поскольку $\Delta C \ll C$) и интегрируя уравнение (12) в интервале изменения переменной dt от 0 до $t_{\text{П}}$, получаем:

$$\Delta C_{\text{ж}} = K_w \left[\alpha \left(C_{\Gamma} - \frac{\Delta C_{\text{ж}}}{2\bar{W}} \right) - C \right] t_{\text{П}} = K_w t_{\text{П}} C_{\Gamma} \alpha - \frac{K_w t_{\text{П}} \Delta C_{\text{ж}} \alpha}{\bar{W}} - K_w t_{\text{П}} C. \quad (13)$$

Откуда

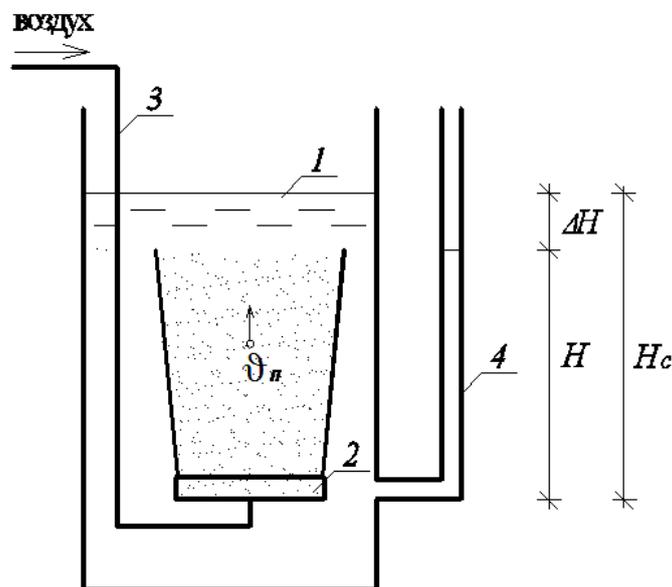
$$\Delta C_{\text{ж}} = K_w t_{\text{П}} (\alpha C_{\Gamma} - C) \left(1 + \frac{K_w t_{\text{П}} \alpha}{\bar{W}} \right)^{-1} = K_w t_{\text{П}} (C_{\text{н}} - C) K_{\text{ГИ}}, \quad (14)$$

где $K_{\text{ГИ}}$ – коэффициент истощения газовой фазы пузырька воздуха,

$$\Delta K_{\text{ГИ}} = \left(1 + \frac{K_w t_{\text{П}} \alpha}{\bar{W}} \right)^{-1}. \quad (15)$$

Статический режим в аэрационном объеме возникает при условии сопоставимости размеров факела воздушных пузырьков, поднимающихся с поверхности

воздухораспределительного устройства, с размерами аэрационного бассейна (см. рисунок). Средняя скорость движения газовой фазы в этом случае равна средней скорости коллективного всплывания воздушных пузырьков v_{Γ} (м/с, жидкая фаза при этом является неподвижной средой).



Принципиальная схема работы пневматического аэратора в статическом режиме:

1 – объем перемешиваемой жидкости (аэрационный объем); 2 – диспергирующее устройство (барботер); 3 – воздуховод, 4 – пьезометр

В случае, когда расстояние между стенками, ограничивающими аэрационный объем, будет существенно превышать размеры аэрационного факела, в аэрационном объеме будет наблюдаться динамический режим, при котором пузырьки воздуха будут всплывать в потоке жидкости, движущемся в одном направлении с ними.

Одной из наиболее важных характеристик водовоздушной смеси, образующейся в аэрационном бассейне, является коэффициент ее газонаполнения, величина которого определяется как отношение суммарного объема, занимаемого газовой фазой W_{Γ} (м^3), объему газовоздушной смеси, определяемому как сумма объемов жидкой $W_{\text{ж}}$ (м^3) и газовой W_{Γ} фаз:

$$\varphi = \frac{W_{\Gamma}}{W_{\text{ж}} + W_{\Gamma}}. \quad (16)$$

В соответствии с формулой (16) относительный объем водовоздушной смеси в аэрационном бассейне может быть определен как

$$\bar{W} = \frac{W_{\Gamma}}{W_{\text{ж}}} = \frac{\varphi}{1 - \varphi}. \quad (17)$$

В процессе работы пневматического аэратора в статическом режиме (см. рисунок) установится динамическое равновесие, при котором гидростатический напор столба водовоздушной смеси над барботером высотой $H_{\text{с}} = H_{\text{ж}} + \Delta H$ будет уравниваться гидростатическим напором жидкости в пьезометре, имеющем высоту $H_{\text{ж}}$.

С учетом того, что объем, занимаемый водовоздушной смесью в аэрационном бассейне, определяется, как $W_{\text{а}} = H_{\text{с}} \cdot F_{\text{а}}$ и $W_{\text{ж}} = H_{\text{ж}} \cdot F_{\text{а}}$; $W_{\Gamma} = \Delta H \cdot F_{\text{а}}$ (где $F_{\text{а}}$ – площадь поперечного сечения зоны аэрации, м^2 ; $H_{\text{ж}}$ – глубина жидкости, м), можно записать:

$$\varphi = \frac{\Delta H F_{\text{а}}}{H_{\text{ж}} F_{\text{а}} + \Delta H F_{\text{а}}} = \frac{\Delta H}{H_{\text{ж}} + \Delta H}. \quad (18)$$

При подаче в распределительную систему пневматической аэрации сжатого воздуха с расходом Q_B ($\text{м}^3/\text{с}$) суммарный объем, занимаемый газовой фазой W_Γ (м^3) в водовоздушной смеси аэрационного бассейна, может быть определен как

$$W_\Gamma = t_\Pi \cdot Q_\Gamma, \quad (19)$$

где t_Π – период контакта газовой и жидкой фаз (период обновления газовой фазы), равный среднему времени всплывания пузырька воздуха (с).

Из (19) имеем

$$t_\Pi = \frac{W_\Gamma}{Q_\Gamma} \frac{W_\text{ж}}{W_\text{ж}} = \overline{W} \frac{F_a H_\text{ж}}{Q_\Gamma} = 3600 \frac{H_\text{ж} \overline{W}}{I} = 3600 \frac{H_\text{ж}}{I} \cdot \frac{\varphi}{\varphi - 1}, \quad (20)$$

где $W_\text{ж}$ – объем аэрационного бассейна (м^3); $I = \frac{Q_\Gamma}{3600 F_a}$ – интенсивность аэрации ($\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$).

Период контакта газовой и жидкой фаз t_Π также может быть определен по формуле

$$t_\Pi = \frac{H_\text{ж} + \Delta H}{v_\Gamma}, \quad (21)$$

где v_Γ – средняя скорость всплывания воздушных пузырьков в аэрационном бассейне ($\text{м}/\text{с}$).

Из (21) имеем

$$\Delta H = H_\text{ж} \frac{\varphi}{1 - \varphi}. \quad (22)$$

С учетом (22) формула (21) может быть записана в виде

$$t_\Pi = \frac{H_\text{ж}}{v_\Gamma (1 - \varphi)}. \quad (23)$$

Из (20) и (23) имеем

$$\varphi = \frac{I}{3600 v_\Gamma} \quad (24)$$

и

$$t_\Pi = \frac{H_\text{ж}}{v_\Gamma \left(1 - \frac{I}{3600 v_\Gamma} \right)}. \quad (25)$$

Окислительная способность системы пневматической аэрации ОС ($\text{кг}/\text{ч}$) в аэрационном бассейне объемом W_a (м^3) при подаче сжатого воздуха Q_Γ ($\text{м}^3/\text{с}$) может быть определена по формуле

$$\text{ОС} = 3600 Q_\Gamma K_\text{и} C_\text{КВ}, \quad (26)$$

где $C_\text{КВ}$ – концентрация кислорода в воздухе ($\text{кг}/\text{м}^3$); $K_\text{и}$ – коэффициент полезного использования кислорода воздуха, являющийся показателем эффективности системы пневматической аэрации.

Величина коэффициента полезного использования кислорода воздуха определяется как отношение массы кислорода, растворенного в воде Δm (кг), к массе кислорода в воздухе, поданного в систему аэрации $m_\text{КВ}$ (кг). Некоторые исследователи рекомендуют определять величину коэффициента полезного использования кислорода $K_\text{и}$ при стандартных условиях ($t=20^\circ\text{C}$) и выражать ее в процентах. В этом случае

коэффициент $K_{и}$ принято называть стандартной эффективностью переноса кислорода (SOTE) [3]. Величина коэффициента $K_{и}$ может быть определена по формуле

$$K_{и} = \frac{\Delta C_{г}}{C_{кв}}. \quad (27)$$

С учетом формул (10), (14) и (17) формулу (27) запишем в виде

$$K_{и} = K_w t_{п} \frac{(C_{н} - C)}{C_{кв}} K_{гн} \frac{1 - \varphi}{\varphi}. \quad (28)$$

Подставив (28) в (26), получим:

$$OC = 3600 Q_{г} K_w t_{п} (C_{н} - C) K_{гн} \frac{1 - \varphi}{\varphi}. \quad (29)$$

Наряду с технологиями сорбционного насыщения воды кислородом воздуха, в практике очистки производственных сточных вод используются и процессы десорбции – перехода растворенных в воде веществ в воздух при отдувке легколетучих соединений. Примером такого процесса может служить технология отдувки из сточных вод аммиака сжатым воздухом. Начальная концентрация аммиака в пузырьке воздуха, образующегося на выходе из воздухораспределительного устройства, равна нулю ($C_{г}^{бв} = 0$). При всплывании пузырька воздуха через слой сточных вод, содержащих растворенный аммиак, концентрация аммиака в газовой смеси внутри пузырька будет увеличиваться, пока не достигнет величины $C_{г}^{бв}$ на поверхности жидкости, где произойдет разрыв оболочки пузырька и обогащенный аммиаком воздух перейдет в газовую фазу.

Средняя концентрация аммиака в пузырьке воздуха за период $t_{п}$ составит:

$$C_{г} = \frac{C_{г}^{бв} + C_{г}^{бв}}{2} = \frac{C_{г}^{бв}}{2} = \frac{\Delta C_{г}}{2}, \quad (30)$$

где $\Delta C_{г} = C_{г}^{бв}$ – величина изменения (увеличения) концентрации аммиака в газовой смеси внутри пузырька воздуха за период $\Delta t_{п}$.

Концентрацию насыщения сточных вод аммиаком в этом случае определяем по формуле (4).

Величина концентрации аммиака в пузырьке воздуха на поверхности жидкости может быть вычислена по формуле

$$\Delta C_{г} = K_w t_{п} (C_{н} - C) \frac{1 - \varphi}{\varphi}. \quad (31)$$

Подставив значение $C_{н} = \frac{\alpha C_{г}}{2}$ в формулу (31) и проведя математические преобразования, получим:

$$\Delta C_{г} = \frac{K_w t_{п} C \frac{1 - \varphi}{\varphi}}{K_w t_{п} \alpha \frac{1 - \varphi}{2\varphi} - 1}. \quad (32)$$

Используя теоретические формулы (6), (24), (25) и (32), можно рассчитать технологические параметры процесса отдувки аммиака из производственных сточных вод сжатым воздухом.

Технологические параметры процесса аэрирования сточных вод определяем по формулам (6), (24), (25), (28) и (29).

Список литературы

1. Брагинский, Л.Н. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод / Л.Н. Брагинский, М.А. Евилевич. – Л.: Химия, 1980. – 140 с.
2. Андреев, С.Ю. Теоретические основы процессов генерации динамических двухфазовых систем вода – воздух и их использование в технологиях очистки воды / С.Ю. Андреев. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 194 с.
3. Математическое моделирование кинетики процессов массопердачи из всплывающих газовых пузырьков в технологиях очистки сточных вод / С.Ю. Андреев, В.Г. Гамбург, А.А. Петрунин, В.А. Князев // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С.134–139.
4. Андреев, С.Ю. Теоретические основы расчета работы эрлифтных устройств / С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев // Региональная архитектура и строительство. – 2017.

References

1. Braginskiy, L.N. Modeling of aeration facilities for sewage treatment / L.N. Braginskiy, M.A. Evilevich. – L.: Khimia, 1980. – 198 p.
2. Andreev, S.Yu. Theoretical grounds of processes of dynamic two-phase systems water-air generation and their use in water treatment technologies / S.Yu. Andreev. – Penza: Penza State University of Architecture and Construction, 2005. – 194 p.
3. Mathematical modeling of mass transfer processes kinetics from floating gas bubbles in waste water purification technologies / S.Yu. Andreev, V.G. Gamburg, A.A. Petrunin, V.A. Knyazev // Regional architecture and engineering. – 2013. – No.3. – P. 134–139.
4. Andreev, S.Yu. Theoretical grounds of calculation of airlift devices operation / S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, V.A. Knyazev // Regional architecture and engineering. – 2017.

УДК 628.33

Тольяттинский государственный университет

Россия, 445020, г. Тольятти,
ул. Белорусская, д.14,
тел.: (8482)53-92-78

Кучеренко Мария Николаевна,
кандидат технических наук, доцент, зав.
кафедрой «Теплогазоснабжение,
вентиляция, водоснабжение и
водоотведение»
E-mail: kucherenk_maria@mail.ru

Сизенко Ольга Александровна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Теплогазоснабжение,
вентиляция, водоснабжение и
водоотведение»

Лелонд Ольга Владимировна,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Прикладная математика
и информатика»

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Бикунова Марина Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»

Ежов Евгений Григорьевич,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Информационно-
вычислительные системы»

Togliatti State University

Russia, 445020, Togliatti, 14,
Belorusskaya St.,
tel.: (8482)53-92-78

Kucherenko Maria Nikolaevna,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the Department «Heat and gas
supply, ventilation, water supply and
sewerage»
E-mail: kucherenk_maria@mail.ru

Sizenko Olga Alexandrovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the Department «Heat and gas supply,
ventilation, water supply and sewerage»

Lelond Olga Vladimirovna,
Candidate of Physics-Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department
«Applied Mathematics and Information
Science»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Bikunova Marina Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the Department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»

Ezhov Evgeniy Grigorievich,
Doctor of Physics-Mathematical Sciences,
Professor of the Department « IT systems»

РАЗРАБОТКА РЕЖИМНОЙ КАРТЫ РАБОТЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМАХ

М.Н. Кучеренко, О.А. Сизенко, О.В.Лелонд, М.В. Бикунова, Е.Г. Ежов

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению фактических объемов удаляемого воздуха в квартирах жилых домов. Аналитические значения ожидаемых воздухообменов получены методом итерации на основе предложенной физико-математической модели системы естественной вентиляции. Предложена режимная карта работы системы естественно-механической вентиляции.

Ключевые слова: воздухообмен, вентиляция, системы естественной вентиляции, многоквартирный жилой дом

MODE MAP DEVELOPMENT OF VENTILATION SYSTEMS WORK IN RESIDENTIAL BUILDING

M. N. Kucherenko, O. A. Sizenko, O.V. Lelond, M.V. Bikunova, E.G.Ezhov

The results of experimental studies to determine the actual volumes of air removed from residential houses are presented. The analytical values of the expected air changes were obtained by the iteration method on the basis of the proposed physical and mathematical model of the natural ventilation system. A mode for the operation of a natural-mechanical ventilation system is proposed.

Keywords: air exchange, ventilation, natural ventilation systems, multi-apartment building

Величина требуемого расчетного воздухообмена в помещениях многоквартирных жилых домов (МЖД), оборудованных системами естественной приточно-вытяжной вентиляции, регламентируется действующими нормативными документами [1, 2]. Одной из главных проблем при эксплуатации данных систем, решение которых направлено на повышение их энергоэффективности, является определение фактических воздухообменов жилых помещений.

Для аналитической оценки эффективности работы системы вытяжной естественной вентиляции МЖД разработана физико-математическая модель, позволяющая определить фактические производительности вентиляционных каналов L_{ϕ} , м³/ч, при любых исходных условиях (количество этажей, размеры каналов, параметры наружного и внутреннего воздуха).

Условием стабильной работы естественной системы приточно-вытяжной вентиляции является выполнение равенства, Па:

$$\sum p_j^n = p_r^n + p_b^n, \quad (1)$$

где $\sum p_j^n$ – суммарные потери давления на j -х участках вентканала, определяемые в зависимости от характера местного сопротивления, Па; p_r^n – расчетное располагаемое гравитационное давление, Па; p_b^n – расчетное располагаемое ветровое давление, Па.

Определение фактической производительности вытяжных вентканалов, L_j , м³/ч, естественной системы вентиляции с вертикальным сборным коллектором заключается в нахождении фактических скоростей v_j в боковых ответвлениях решением системы уравнений:

$$\begin{cases} \sum p^1 = p_r^1 + p_b^1, \\ \sum p_j^2 = p_r^2 + p_b^2, \\ \dots \\ \sum p^n = p_r^n + p_b^n, \end{cases} \quad (2)$$

где $j = 1, 2 \dots n$; n – число этажей.

Система (2) представляет собой систему нелинейных алгебраических уравнений, аналитическое решение которой осуществляется методом итерации. В основе метода итерации лежит принцип сжимающих отображений.

Систему (2) можно привести к виду:

$$\begin{cases} L_1 = \Phi_1(L_1, L_2, \dots, L_n), \\ L_2 = \Phi_2(L_1, L_2, \dots, L_n), \\ \dots \\ L_n = \Phi_n(L_1, L_2, \dots, L_n). \end{cases} \quad (3)$$

Систему (3) можно записать в виде $L = \varphi(L)$, где $L = \begin{pmatrix} L_1 \\ \vdots \\ L_n \end{pmatrix}$,

$$\varphi(L) = \begin{pmatrix} \varphi_1(L) \\ \vdots \\ \varphi_n(L) \end{pmatrix}.$$

Пусть функции φ_i и $\frac{\partial \varphi_i}{\partial L_j}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$) определены и непрерывны в некоторой области $G \subset R^n$, D – замкнутое ограниченное выпуклое множество, содержащееся в области G , причем $\varphi(D) \subset D$.

Если для системы (3) выполняется хотя бы одно из условий

$$\alpha_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \max_{L \in D} \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial L_j} \right)^2} < 1; \quad (4)$$

$$\alpha_2 = \sum_{i=1}^n \max_{1 \leq j \leq n} \max_{L \in D} \left| \frac{\partial \varphi_i}{\partial L_j} \right| < 1; \quad (5)$$

$$\alpha_3 = \max_{1 \leq i \leq n} \max_{L \in D} \sum_{j=1}^n \left| \frac{\partial \varphi_i}{\partial L_j} \right| < 1, \quad (6)$$

то данная система имеет в D единственное решение, которое можно с любой степенью точности найти методом итераций, выбирая в качестве $L^0 = (L_1^0, L_2^0, \dots, L_n^0)$ произвольный элемент из D и полагая $L^k = (L_1^k, L_2^k, \dots, L_n^k) = \varphi(L^{k-1}) = \varphi(L_1^{k-1}, L_2^{k-1}, \dots, L_n^{k-1})$ для $k = 1, 2, \dots, K$, где k – номер текущего члена итерационной последовательности, а K – число элементов данной последовательности, обеспечивающее требуемую точность приближенного решения.

Для численного решения в исследованиях использована функция «Поиск решения» программного пакета Microsoft Office Excel. В качестве целевой функции взято первое уравнение системы (2). Остальные уравнения выступают в качестве нелинейных ограничений для целевой функции.

Для проверки достоверности предложенной физико-математической модели проведены натурные замеры фактических воздухообменов в квартирах эксплуатируемых типовых (серия 90) 9-этажных жилых домов с теплым чердаком. Полученные экспериментальные данные по объемам удаляемого воздуха через вентиляционные системы санузлов и кухонь показали, что фактический объем удаляемого воздуха практически всегда не соответствует нормируемому (рис. 1).

Решение системы (2) при условии изменяющейся температуры наружного воздуха в сторону отрицательных температур показывает, что неравномерность воздухообменов по этажам многоэтажного здания возрастает с понижением температуры. Кроме того, повышение располагаемого давления при низких температурах наружного воздуха приводит к увеличению фактических объемов удаляемого воздуха, а следовательно, и объемов инфильтрующегося воздуха. Поддержание требуемых параметров внутреннего воздуха в этом случае возможно только за счет дополнительных теплопоступлений от системы отопления. Поэтому применение механической вентиляции целесообразно не только в теплый период года, когда естественного давления недостаточно для обеспечения работоспособности системы, но и в холодный период года при низких температурах наружного воздуха.

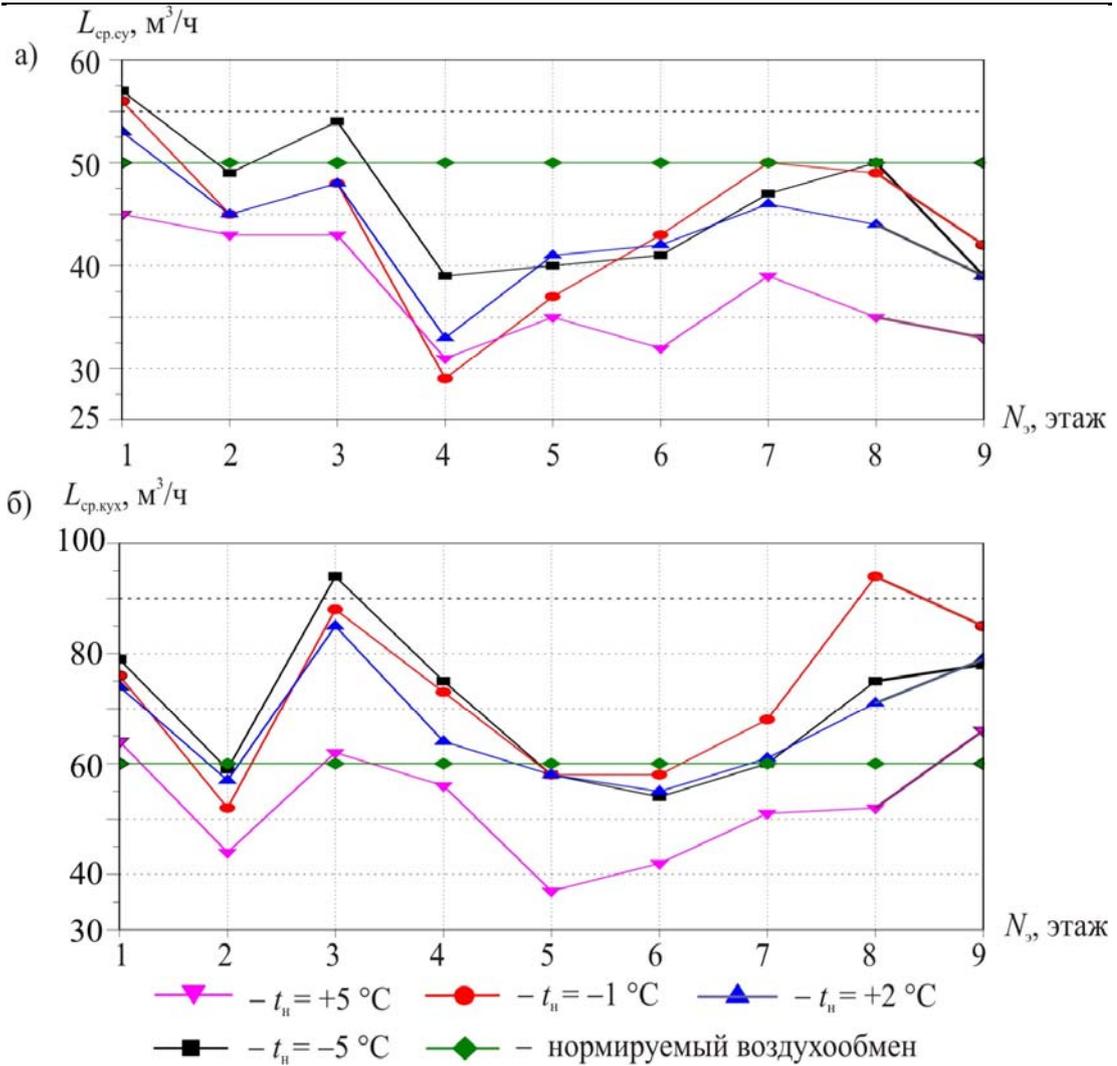


Рис. 1. Экспериментальные значения объемов удаляемого воздуха:
 а – из санитарных узлов; б – из кухонь

С использованием предложенной физико-математической модели были аналитически определены значения ожидаемых воздухообменов в диапазоне температур наружного воздуха от $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ до $-30 \text{ }^\circ\text{C}$. На основе полученных данных построена режимная карта работы системы комбинированной естественно-механической системы вентиляции (рис. 2).

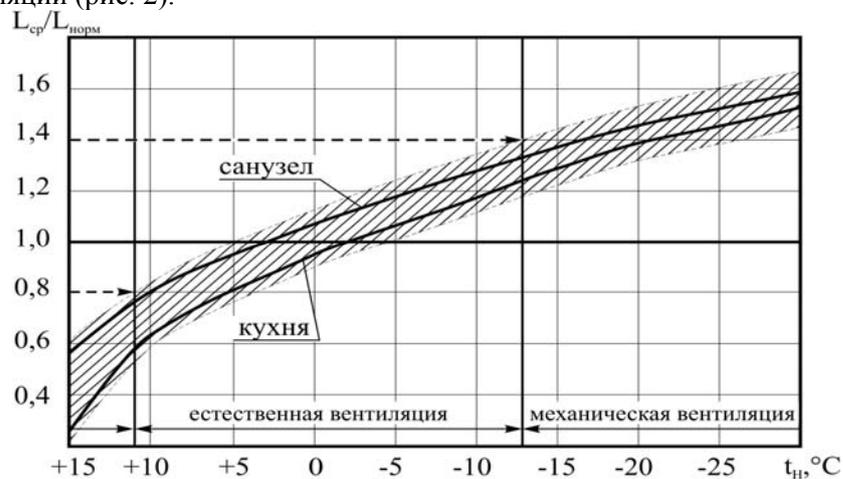


Рис. 2. Режимная карта работы системы вентиляции

Показателем эффективности работы системы естественной вентиляции является отношение осредненного по этажам значения фактического расхода удаляемого воздуха $L_{\text{ср}}$, м³/ч, к нормируемому расходу $L_{\text{норм}}$, м³/ч, для заданной температуры воздуха $t_{\text{н}}$, °С. С учетом того факта, что нормируемый расход для кухонь и санитарных узлов не одинаков, фактическая эффективность работы естественной вентиляции на режимной карте показана в виде области значений.

Нижняя граница использования естественной вентиляции обусловлена допустимым отклонением значений воздухообменов от нормируемых, верхняя – экономической целесообразностью применения механической вентиляции. Стоит отметить, что экономическая целесообразность использования механической вентиляции в холодный период года определяется для каждого района строительства отдельно с учетом продолжительности стояния температур.

ВЫВОДЫ

1. Составление режимной карты работы системы вентиляции с выделением температурных диапазонов работы систем механической и естественной вентиляции позволит обеспечить требуемые воздухообмены в квартирах при круглогодичной эксплуатации системы, а также свести к минимуму энергетические затраты.

2. Применение комбинированных (естественно-механических) систем вентиляции при реконструкции жилых зданий массовой застройки позволит стабилизировать работу системы в круглогодичном диапазоне и исключить дополнительные затраты теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха при низких температурах наружного воздуха.

Список литературы

1. СП 54.13330.2011. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31–01–2003: утв. М-вом регион. развития Рос. Федер. 24.12.2010: дата введ. 20.05.2011. – М.: Минрегион России, 2011. – 29 с.

2. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41–01–2003: утв. М-вом регион. развития Рос. Федер. 30.06.2012: дата введ. 01.01.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 62 с.

3. Определение фактической производительности систем естественной вентиляции с вертикальным сборным коллектором многоквартирных жилых домов / М.В. Бодров, В.П. Болдин, В.Ю. Кузин, М.Н. Кучеренко // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 1. – С. 54–59.

4. Кучеренко, М.Н. Анализ эффективности систем естественной вентиляции жилых зданий с теплым чердаком / М.Н. Кучеренко, О.А. Сизенко // Приволжский научный журнал. – 2008. – № 3(7). – С. 33–37.

References

1. SP 54.13330.2011. Buildings inhabited multi-apartment. The updated version of SNiP 31-01-2003: approved. The region. Development of Rus. Feder. on 24.12.2010: the date entered. 05/20/2011. – M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2011. – 29 p.

2. SP 60.13330.2012. Heating, ventilation and air conditioning. Updated version of SNiP 41-01-2003: approved. The region. Development of Rus. Feder. 30.06.2012: the date is entered. 01/01/2013. – M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2012. – 62 p.

3. Determination of the actual performance of natural ventilation systems with a vertical collector of multi-apartment houses / M.V. Bodrov, V.P. Boldin, V.Yu. Kuzin, M.N. Kucherenko // Privolzhsky scientific journal. – 2015. – № 1. – P. 54–59.

4. Kucherenko, M.N. Analysis of the effectiveness of natural ventilation systems in residential buildings with a warm attic / M.N. Kucherenko, O.A. Sizenko // Privolzhsky scientific journal. – 2008. – No. 3 (7). – P. 33–37.

УДК 621.6.036

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

410054, Россия, г. Саратов,
ул. Политехническая, 77,
тел.: (8452) 51-50-18

Усачев Александр Прокофьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Теплогасоснабжение,
вентиляция, водообеспечение и прикладная
газодинамика»

E-mail: usachev-ap@mail.ru

АО "Гипрониигаз".

410012, Россия, г. Саратов,
проспект им. Кирова С.М., д. 54,
тел.: (845-2) 74-94-95

Шурайц Александр Лазаревич,
доктор технических наук, генеральный
директор АО «Гипрониигаз»

Салин Дмитрий Валерьевич,
начальник отдела АО «Гипрониигаз»

Усуев Заур Мухтарович,
начальник отдела АО «Гипрониигаз»

Хомутов Антон Олегович,
начальник 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»

Salin Dmitry Valerievich,
Head of the department of JSC «Gipronigas»

Usuyev Zaur Mukhtarovich,
Head of the department of JSC «Gipronigas»

Khomutov Anton Olegovich,
Head of the department of JSC «Gipronigas»

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ И РАЗРАБОТКА ГАЗОВЫХ ФИЛЬТРОВ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ФИЛЬТРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ И ТОНКОЙ ОЧИСТКИ, РАЗМЕЩАЕМЫМИ В ОДНОМ КОРПУСЕ

А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, Д.В. Салин, З.М. Усуев, А.О. Хомутов

Разработан принцип создания двухступенчатого газового фильтра, заключающийся в размещении во внутреннем объеме его корпуса двух коаксиально установленных, один внутри другого, фильтрующих элементов предварительной и тонкой очистки, находящихся на минимально допустимом расстоянии друг от друга, не снижающем пропускную способность фильтра.

Ключевые слова: двухступенчатый газовый фильтр, предварительная и тонкая очистка, цилиндрические фильтрующие элементы, обоснование, разработка

JUSTIFICATION OF USE AND DEVELOPMENT OF GAS A FILTER WITH A CYLINDRICAL FILTERRING ELEMENT OF PRELIMINARY AND FINE CLEANING PLACED IN ONE BODY

A.P. Usachev, A.L. Shurayts, D.V. Salin, Z.M. Usuev, A.O. Homutov

Designed the principle of making a two-stage gas filter, which consists of placing in the internal volume of its body of two installed, one inside the other, filterring elements of preliminary and cleaning, residing on minimum possible distance, standing friend from friend, not reducing reception capacity of filter.

Keywords: two-stage gas filter, preliminary and fine cleaning, cylindrical filterring elements, motivation, development

Введение

Обеспечение бесперебойной эксплуатации газовой регулирующей арматуры требует применения цилиндрических газовых фильтров предварительной и тонкой очистки [1]. Однако существенными их недостатками являются высокая металлоемкость вследствие установки цилиндрических фильтрующих элементов (ЦФЭ) в отдельных корпусах, а также значительная площадь пола, стен и потолочного перекрытия, требуемая для такого расположения, необходимость отопления, вентиляции и освещения дополнительного объема помещения ГРП, отводимого для размещения двух ЦФЭ. В связи с этим актуальной задачей является обоснование применения и разработка газовых фильтров с цилиндрическими фильтрующими элементами предварительной и тонкой очистки, находящимися в одном корпусе.

1. Выбор оптимальных параметров для ступеней предварительной и тонкой очистки цилиндрических газовых фильтров

Проведенный анализ показал, что наиболее совершенной является система двухступенчатой очистки конструкции АО «Гипрониигаз», где оба цилиндрических фильтра предварительной «А» и тонкой «Б» очистки имеют оптимальное отношение высоты фильтров H к их диаметру D (рис. 1), достигнутое за счет увеличения значения отношения высоты их корпуса H к диаметру D и составляющее $H/D = 4,0 - 4,5$ [2]. В этом случае высота цилиндрического фильтрующего элемента существующей конструкции в виде одного неразборного изделия составит 65 % от высоты H корпуса фильтра. Для извлечения из корпуса такого ЦФЭ при проведении очистки от твердых примесей необходимо предусматривать дополнительную высоту помещения.

В патенте № RU 158000 U1 с приоритетом от 16.12.2014 г. [3] доказано, что вместо одного неразборного ЦФЭ экономически целесообразно устанавливать несколько фильтрующих элементов, размещенных один на другом, с высотой каждого из них, равной суммарной высоте разборного блока и поделенной на количество ЦФЭ. Устройство и принцип работы каждого из фильтров предварительной «А» и тонкой «Б» очистки приведены на рис. 1 и в [1].

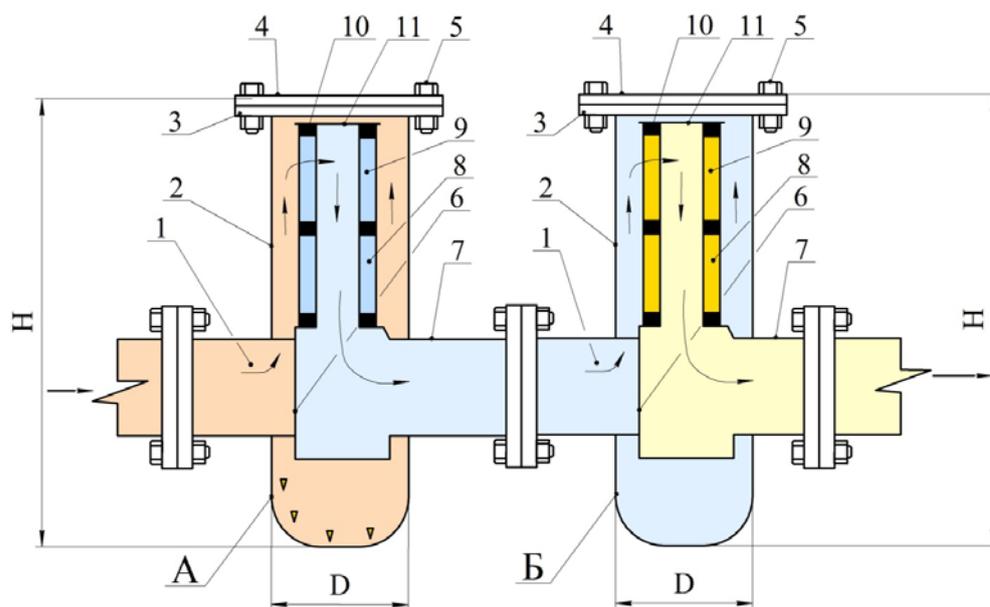


Рис. 1. Наиболее совершенная существующая система двухступенчатой очистки с фильтрами предварительной «А» и тонкой «Б» очистки:

- 1, 7 – входной и выходной патрубки; 2- цилиндрический корпус; 3- фланец; 4 – крышка цилиндрического корпуса; 5 – болтовые соединения; 6 – стакан; 8,9 – вертикально установленные короткие ЦФЭ; 10 – уплотнительные прокладки; 11 – крышка для перекрытия верхних торцов ЦФЭ

Недостатками известного устройства еще остаются высокая металлоемкость, а также значительная площадь пола, стен и потолочного перекрытия, необходимость отопления, вентиляции и освещения дополнительного объема помещения ГРП вследствие установки фильтрующих элементов 8 и 9 в отдельных корпусах.

2. Разработка принципа устройства и конструкции газового цилиндрического фильтра с размещением в одном корпусе фильтрующих элементов предварительной и тонкой очистки

С целью устранения указанных недостатков предлагается новый принцип сокращения металло- и материалоемкости, заключающийся *в размещении во внутреннем объеме одного корпуса цилиндрического газового фильтра коаксиально установленных, один внутри другого, фильтрующих элементов предварительной очистки из сетки и тонкой очистки из волокнистого материала, находящихся на минимально допустимом расстоянии δ_{min} , при котором сетка фильтрующего элемента предварительной очистки в местах сближения с ЦФЭ тонкой очистки не засоряется интенсивнее, чем на участках, расположенных на больших расстояниях и, как следствие, не увеличивается гидравлическое сопротивление и не уменьшается пропускная способность на участках этого сближения.*

В соответствии с предлагаемым принципом разработана конструкция двухступенчатого фильтра, оформленная заявкой на получение патента на полезную модель, в которой по сравнению с наиболее совершенной системой двухступенчатой очистки (см. рис. 1) во внутреннем объеме фильтрующих элементов предварительной очистки 7 и 8, выполненных из сетки, установлен блок из вертикальных ЦФЭ тонкой очистки 9 и 10 из волокнистого нетканого материала так, как это показано на рис. 2.

Отбор газа для замера перепада давления на ЦФЭ предварительной очистки 7 и 8 и тонкой очистки 9 и 10 осуществляется, согласно [4, 5], с помощью выполненных из стальной изогнутой трубки датчиков давления 13 и 14, устанавливаемых в нижней части внутреннего объема фильтра так, чтобы отверстия 16 и 15 для соединения с внутренними пространствами фильтрующих элементов 7 и 9 были расположены в их боковой поверхности на той же отметке, что и отверстие датчика давления 12 неочищенного газа. При этом верхний конец изогнутой трубки датчиков давления 13 и 14 герметично перекрывается выше отверстия в ее боковой стенке. Таким образом осуществляется измерение перепада давления на блоке из ЦФЭ 7 и 8 и блоке из ЦФЭ 9 и 10 с помощью дифференциальных манометров 20 и 21.

Двухступенчатый фильтр предварительной и тонкой очистки природного газа, размещаемый в помещении, работает следующим образом.

Природный газ, не очищенный от крупных и мелких твердых частиц, через входной патрубок 2 поступает в вертикально установленный корпус 1, одновременно проходит через боковые фильтрующие поверхности из металлической сетки с размером ячейки не более 0,08 мм блока из вертикально установленных ЦФЭ 7 и 8 предварительной очистки и, таким образом, очищается со степенью фильтрации (улавливания) не менее 99,5 % твердых частиц, имеющих размеры, превышающие 0,08 мм. После этого грубоочищенный природный газ из внутреннего объема полых ЦФЭ 7 и 8 проходит через боковые фильтрующие поверхности блока из вертикально установленных ЦФЭ 9 и 10 тонкой очистки и, таким образом, очищается от мелких твердых частиц и пыли со степенью фильтрации (улавливания) не менее 99,5 % твердых частиц, имеющих размеры, превышающие 0,005 мм.

Очищенный природный газ собирается во внутреннем объеме полых ЦФЭ 9 и 10, откуда через стакан 5 по выходному патрубку 6 корпуса 1 поступает в газовое регулирующее оборудование.

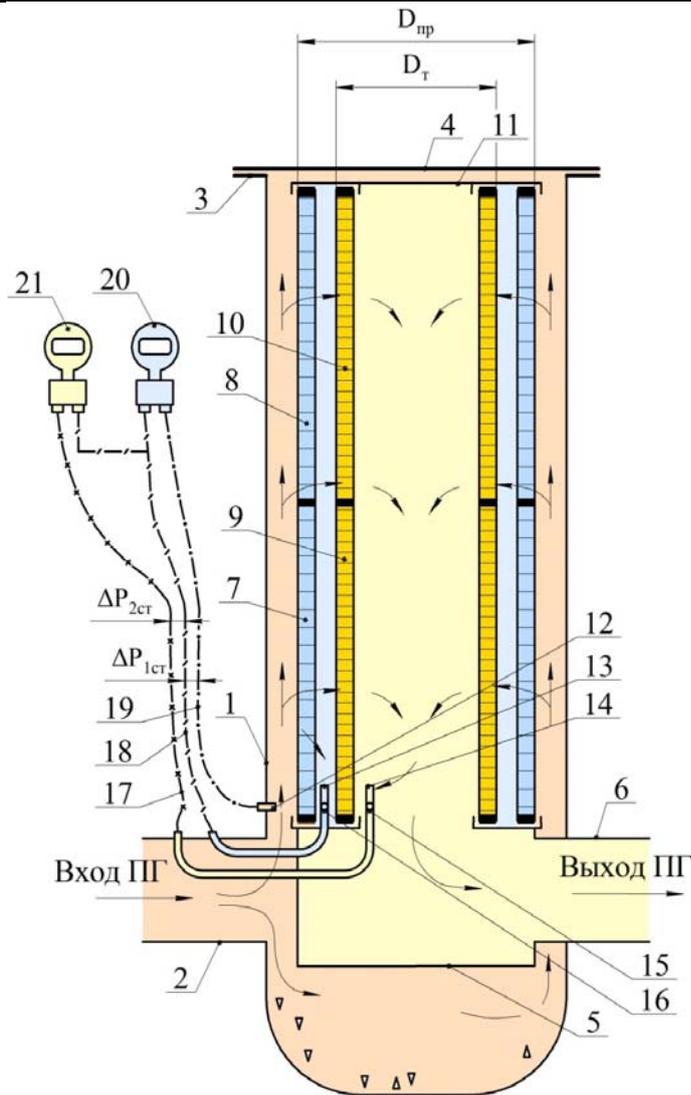


Рис. 2. Схема двухступенчатого газового фильтра с ЦФЭ предварительной и тонкой очистки, расположенными в одном корпусе:

- 1 – цилиндрический корпус; 2 – входной патрубок; 3- фланец; 4 – крышка цилиндрического корпуса; 5 – стакан; 6 – выходной патрубок; 7,8 – блок из вертикально установленных ЦФЭ предварительной очистки; 9,10 – блок из вертикально установленных ЦФЭ тонкой очистки; 11 – крышка для перекрытия верхних торцов верхних ЦФЭ предварительной 8 и тонкой 10 очистки; 12 – датчик статического давления неочищенного газа, установленный до блока из ЦФЭ предварительной очистки 7 и 8; 13 – датчик статического давления газа, установленный после блока из ЦФЭ предварительной очистки 7 и 8; 14 – датчик статического давления газа, установленный после блока из ЦФЭ тонкой очистки 9 и 10; 15, 16 – отверстия в боковой поверхности датчиков 14 и 13; 17, 18, 19 – импульсные трубки, соответственно от датчиков 14, 13 и 12

При засорении наружной поверхности блока ЦФЭ 7 и 8 крупными твердыми частицами и блока ЦФЭ 9 и 10 мелкими твердыми частицами до расчетного уровня осуществляются перекрытие подачи газа на двухступенчатый фильтр, его продувка инертным газом, демонтаж крышек 4 и 11, извлечение вертикально установленных фильтрующих цилиндров 8, 7 и 9, 10. После этого выполняется очистка сеток ЦФЭ 7 и 8 от крупных твердых частиц с помощью щеток и моющего раствора. Вместе с тем ЦФЭ тонкой очистки 9 и 10 не подлежат регенерации и заменяются на новые. Повторная установка ЦФЭ предварительной и тонкой очистки осуществляется в

следующей последовательности – сначала устанавливаются нижние 7 и 9, а затем верхние ЦФЭ 8 и 10.

Разработка, исследование и внедрение эффективных двухступенчатых систем очистки – одно из основных направлений в стратегии технического развития конструкций фильтров, выпускаемых АО «Гипрониигаз».

3. Определение численного значения основного параметра, оказывающего влияние на работу ступеней предварительной и тонкой очистки при их совместной установке в одном корпусе газового цилиндрического фильтра

3.1. Как следует из разд. 2, основным параметром является минимально допустимое расстояние δ_{\min} . При сближении или соприкосновении отдельных участков ЦФЭ предварительной и тонкой очистки происходит перекрытие проходных сечений ячеек предварительной очистки волокнами ступени тонкой очистки, что приводит к более интенсивному засорению твердыми примесями и снижению пропускной способности фильтрующих элементов предварительной очистки. Проведем анализ этого процесса на конкретном примере, когда ЦФЭ предварительной очистки выполнены на основе плетеной металлической сетки с размером ячеек 0,08 мм для пропуска через них твердых частиц, имеющих размеры менее 0,08 мм, а ЦФЭ тонкой очистки изготавливаются из волокнистого материала с размерами ячеек отдельных слоев в интервале 0,08 – 0,005 мм, уменьшающихся по направлению течения газа, с пропуском через них твердых частиц, имеющих размеры менее 0,08 мм, но выше 0,005 мм.

3.2. При фактическом расстоянии между ступенями предварительной и тонкой очистки

$$\delta_{\phi} = 0 \quad (1)$$

происходит их соприкосновение, при этом волокна ступени тонкой очистки частично перекрывают проходные сечения ячеек предварительной ступени очистки. В этом случае твердые частицы размером менее 0,08 мм, поступая в проходные сечения ячеек предварительной ступени очистки, сталкиваются с волокнами, прижатыми с внутренней стороны ступени тонкой очистки. Это приводит к снижению пропускной способности и к более интенсивному засорению сечений ячеек ступени предварительной очистки твердыми частицами размерами менее 0,08 мм, по сравнению с участками, расположенными на больших расстояниях, чем $\delta_{\phi} = 0$.

3.3. При фактическом расстоянии δ_{ϕ} между ЦФЭ предварительной и тонкой очистки более 0, но менее δ_{\min} , то есть

$$0 \leq \delta_{\phi} \leq \delta_{\min}, \quad (2)$$

продолжает оказываться существенное влияние на ЦФЭ предварительной очистки, близкорасположенных с внутренней стороны волокон материала ступени тонкой очистки, по сравнению с участками, расположенными на больших расстояниях, чем δ_{\min} . Это приводит к снижению пропускной способности, к более интенсивному засорению твердыми частицами размерами менее 0,08 мм сечений ячеек ступени предварительной очистки, по сравнению с участками, расположенными на больших расстояниях, чем δ_{\min} .

3.4. При фактическом расстоянии

$$\delta_{\phi} > \delta_{\min} \quad (3)$$

увеличивается диаметр фильтрующего элемента ЦФЭ предварительной очистки, что приводит к увеличению диаметра корпуса фильтра, росту его металлоемкости и возрастанию стоимости.

3.5. С целью выявления расчетного значения δ_{\min} , согласно заявке на патент, был изготовлен, а затем испытан в Научно-производственном центре АО «Гипрониигаз» газовый фильтр внутренним с диаметром $D = 500$ мм, оснащенный ступенью предварительной очистки из сетки с размером ячейки 0,08 мм и ступенью тонкой очистки из

волоконистого материала с минимальным размером ячейки слоя 0,005 мм, расположенного в его толще, использующий воздух высокого давления с находящимися в нем песчаными частицами размером 0,1–0,005 м в качестве рабочей среды.

Выводы

1. Предложен новый принцип создания двухступенчатого газового фильтра, заключающийся в размещении во внутреннем объеме его корпуса двух коаксиально установленных, один внутри другого, фильтрующих элементов предварительной и тонкой очистки, находящихся на минимально допустимом расстоянии друг от друга δ_{\min} , не снижающем пропускную способность фильтра.

2. Результаты испытаний показали, что при увеличении фактического расстояния δ_{ϕ} до значения $\delta_{\min} = 5,6$ мм, с одной стороны, перестает происходить снижение пропускной способности ЦФЭ предварительной очистки вследствие прекращения влияния близкорасположенных с внутренней стороны волокон материала ступени тонкой очистки и снижения степени засорения сечений ячеек твердыми частицами размерами менее 0,08 мм, по сравнению с участками, расположенными на меньших расстояниях, чем δ_{\min} . С другой стороны, при прекращении увеличения расстояния до ЦФЭ предварительной очистки сверх $\delta_{\min} = 5,6$ мм останавливается рост диаметра, металлоемкости и стоимости корпуса фильтра, так как перестает увеличиваться диаметр этого ЦФЭ.

3. При использовании предлагаемой конструкции двухступенчатого газового фильтра, размещаемого в помещении ГРП, достигаются следующие преимущества, по сравнению с наиболее совершенной существующей двухступенчатой установкой очистки:

1) ориентировочно в 1,6 раза сокращается металлоемкость двухступенчатого газового фильтра за счет размещения блоков предварительной и тонкой очистки в одном корпусе. В этом случае отпадает необходимость в одном входном и одном выходном патрубках, одном корпусе фильтра с фланцем, крышкой, стаканом и комплектом болтовых соединений;

2) примерно на 20,0 % уменьшаются площади пола, стен и потолочного перекрытия помещения ГРП за счет исключения из конструкции одного из корпусов фильтра, устанавливаемого на полу;

3) отпадает необходимость затрат на отопление, вентиляцию, освещение, обеспечение противоаварийной защиты дополнительного объема помещения ГРП, который отводился для размещения одного из двух фильтров.

Список литературы

1. Промышленное газовое оборудование: справочник. – 6-е изд., перераб. и доп. – Саратов: Газовик, 2013. – 1125 с.

2. Теоретические и прикладные основы повышения эффективности и безопасности эксплуатации установок грубой очистки природного газа от твердых частиц в системах газораспределения: монография / А.П. Усачев [и др.]. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2013. – 172 с.

3. Патент на полезную модель RU №158000 U1. Установка грубой очистки природного газа от твердых частиц, располагаемая в помещении / А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.В. Рулев, Д.В. Салин; опубл. 20.12.2015. – Бюл. № 35. Дата подачи заявки 16.12.2014.

4. Патент на полезную модель RU №157997 U1. Установка грубой очистки природного газа с цилиндрическим фильтрующим элементом сетчатого типа» / А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, А.В. Рулев, Д.В. Салин; опубл. 20.12.2015. – Бюл. № 35. Дата подачи заявки 16.12.2014.

5. Совершенствование методических подходов к замеру перепада давления на цилиндрических фильтрующих элементах современных газовых фильтров сетчатого типа / А.П. Усачев [и др.] // Нефтегазовое дело. – Уфа, 2015. – № 1. – С. 131–136.

References

1. Industrial gas equipment: reference book. Saratov: Gazovik, 2013. – 1125 p.
2. Theoretical and practical basis for improving the efficiency and safety of operation of installations for natural gas rough purification from solid particles in gas distribution systems / A. P. Usachev [etc.]. – Saratov: Sarat. GOS. tehn. University, 2013. – 172 p.
3. The patent for utility model RU No. 158000 U1. Installation rough peelings natural gas from the solid particles located in the room / A.P. Usachev, A.L. Suritz, A.V. Rulev, V.D. Salin; published on 20.12.2015. – Bull. No. 35. Date of application 16.12.2014.
4. The patent for utility model RU No. 157997 U1. Installation rough peelings natural gas with a cylindrical filter element of mesh type of» / A.P. Usachev, A.L. Suritz, A.V. Rulev, V.D. Salina; published on 20.12.2015. – Bull. No. 35. Date of application 16.12.2014.
5. Improvement of methodical approaches to the measurement of differential pressure cylindrical filter elements of a modern gas filters of mesh type / A.P. Usachev [etc.] // Oil and gas business. – Ufa, 2015. – No. 1. – P. 131–136.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

УДК 711.4-168:728

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

Петрянина Любовь Николаевна,
доцент
E-mail: arhlyubov@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

Petryanina Lyubov Nikolaevna,
Associate Professor
E-mail: arhlyubov@yandex.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ОПОРНОГО ГОРОДСКОГО ФОНДА КАК НАПРАВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Л.Н. Петрянина

Рассматриваются особенности реконструкции жилых зданий старой городской застройки. Определена необходимость повышения комфорта реконструируемых квартир с учётом прогнозных данных об их планировке, благоустройстве и региональных условий. Приведены данные анализа проектных материалов реконструированных жилых зданий по видам перепланировки и отмечена актуальность автоматизации процесса реконструкции с целью выбора оптимального варианта. Предложены эффективные способы комплексной реконструкции опорного жилого фонда и городской среды.

Ключевые слова: городское строительство, реконструкция, опорный жилой фонд, перепланировка, оптимизация проектирования

QUESTIONS OF RECONSTRUCTION OF RESIDENTIAL BUILDINGS OF THE HOUSING STOCK AS A DIRECTION OF MODERN URBAN CONSTRUCTION

L.N. Petryanina

Reconstruction of residential buildings of the old part of a city are considered. The need to improve the comfort of renovated apartments taking into account the forecasted data about the planning, improvement, and regional conditions is defined. The data analysis of project materials of reconstructed residential buildings according is the types of redevelopment and the relevance of automation of the reconstruction process to select the optimal variant are presented. The efficient methods for complex reconstruction of the basic housing stock and the urban environment are proposed.

Keywords: urban construction, reconstruction, housing stock, redevelopment, design optimization

Одним из направлений современного городского строительства является реконструкция существующей застройки, т.к. для планомерного развития городского хозяйства необходимо оптимальное сочетание строительства новых и реконструкции существующих эксплуатируемых зданий. В связи с этим необходимо рассматривать значение и место реконструкции капитальных жилых зданий как комплексную проблему улучшения жилища и окружающей его среды. Актуальность реконструкции жилья и выбора оптимального её варианта состоит в том, что снос капитальных жилых зданий городской застройки не всегда обоснован или принимаемый к реализации вариант не имеет достаточного количества преимуществ в отличии от отстранённых вариантов, а иногда вариантность отсутствует по разным причинам.

Жилое здание рассматривается как сложная система, состоящая из конструкций, инженерного оборудования, элементов благоустройства, находящаяся под воздействием факторов внешней (атмосферных, климатических и др.) и внутренней (различные эксплуатационные нагрузки) среды.

Для реконструкции жилых зданий характерны два аспекта: принцип интегральности, предполагающий комплексное рассмотрение всех внутренних и внешних факторов, воздействующих на здание в процессе его эксплуатации, и комплексный подход, означающий принятие решений по выбору наиболее целесообразных принципов и методов реконструкции жилых зданий с максимально полным охватом всех взаимосвязей и подробным анализом последствий принятого решения.

Большинство жилых зданий, как правило, капитальных и многоэтажных, расположено в центральных кварталах крупных городов. Обычно это каменные дома старой постройки, т.е. 25–30 % жилой площади капитального городского фонда. Значительная часть этого фонда находится в хорошем состоянии, но морально устарела. Основными объектами реконструкции являются кирпичные здания, т.к. их несущий остов наиболее удобен для переустройства. Проблему реконструкции таких зданий необходимо рассматривать в широком градостроительном аспекте, сочетая приёмы обновления планировки и застройки жилых кварталов с мерами по охране исторически сложившейся планировочной структуры и архитектурного ландшафта города; тогда реконструкция будет эффективна. Обязательным условием эффективной реконструкции жилых зданий должно являться обеспечение комплексности реконструктивных мероприятий как единого взаимосвязанного процесса, в который могут входить переустройство, модернизация жилищного фонда, совершенствование планировочной структуры кварталов, организация мест отдыха, улучшение санитарно-гигиенических условий, повышение художественных качеств планировки, застройки и объёмно-пространственной композиции.

Поскольку современная урбанизированная среда, в том числе и реконструкция, – это процесс динамический, развивающийся во времени, то следует проектировать поэтапную реконструкцию жилых кварталов и микрорайонов с определением содержания реконструктивных мероприятий отдельных зданий на каждом этапе, обязательно принимая при этом во внимание социальные задачи и конкретные экономические возможности. В целом перестройка капитальной многоэтажной сложившейся застройки – процесс длительный, основанный на последовательном поэтапном осуществлении утверждённых проектов реконструкции.

В период осуществления проектов реконструкции происходит уменьшение физического износа путём полной или частичной замены отдельных конструкций и морального износа при внутренней перепланировке и повышении благоустройства зданий. А при системном подходе к процессу проектирования реконструкции жилых капитальных зданий они должны рассматриваться не только как технические объекты, но и как социально-технические системы, т.е. в проектах реконструкции должен закладываться уровень комфортности, определяемый социальными возможностями настоящего времени. Вместе с тем конструктивные схемы, планировочная структура, размеры общих площадей квартир и комнат в реконструируемых жилых зданиях по своим количественным показателям должны превышать действующие нормативы и приближаться к соответствующим показателям перспективных типов квартир.

Поэтому, чтобы сохранить при реконструкции максимально возможное количество элементов существующей планировки зданий и связанных с ними конструктивных элементов, целесообразно устраивать в таких домах квартиры перспективного типа. Это позволит с учётом капитальности стеновых конструкций и значительного остаточного срока службы реконструируемых зданий избежать в дальнейшем новых перепланировок, а также связанных с ними расходов, замедлить моральное старение реконструируемых зданий. Уровень комфортности при реконструкции необходимо определять с учётом прогнозных данных о планировке, благоустройстве квартир.

В зависимости от технического состояния реконструируемых жилых зданий и региональных условий объём таких мероприятий, включая внутреннюю перепланировку, может изменяться в значительных пределах, а особенности конструктивных схем старых жилых зданий требуют, во избежание потери жилой площади при перепланировке, несколько других, чем при новом строительстве, планировочных приёмов. Их особенность обеспечивается следующим:

- во-первых, наличие существующего стенового остова здания уже предполагает принимать при реконструкции здания обратную новому строительству логическую последовательность получения планировочного решения, состоящую из поэтапного разделения:

- стенового остова на отдельные секции с обслуживающими их существующими или вновь устраиваемыми лестничными клетками;

- секций на отдельные квартирные ячейки;

- квартирных ячеек на жилую и вспомогательную зоны при одновременной их увязке с местом размещения вновь устраиваемых или существующих санитарно-технических коммуникаций и окончательной покомнатной детализации планировки;

- во-вторых, если при новом строительстве набор и планировка квартир несколько ограничены модульной системой размеров, то при реконструкции можно использовать более разнообразные планировки квартир, которые шире удовлетворяют требованиям заказчика.

Важно также отметить, что по итогам проведённого анализа проектных материалов и реконструированных жилых зданий можно выделить два вида перепланировки: частичную и полную, которые применяются в зависимости от того, насколько существующие планировка и благоустройство не соответствуют современным требованиям.

Частичная перепланировка должна осуществляться путём упорядочения существующей планировки и необходима она в тех случаях, когда:

- 1) существующее планировочное решение и уровень благоустройства здания в большей мере отвечают современным нормам и требуют только небольших улучшений, что обычно бывает в зданиях, где процент износа стеновых конструкций составляет не более 40 %;

- 2) размеры существующих квартир требуют блокировки мелких или разделения больших квартир с частичным использованием элементов их планировки, а также переустройства кухонь и санузлов с обеспечением при этом всех функциональных требований к структуре и зонированию квартир; физический процент износа стеновых конструкций тоже не превышает 40 %;

- 3) стены здания имеют износ более 40 %, в связи с чем незначительный срок оставшейся службы здания делает неэкономичным проведение крупных реконструктивных мероприятий.

Полная перепланировка – это замена старой, не отвечающей современным требованиям планировки на новую. При этом вновь устраивают комфортабельные квартиры.

Полная перепланировка рассчитана на здания с хорошим состоянием кладки стен и существующих перекрытий, ветхие при этом заменяются на новые. Новая планировка может сопровождаться изменением положения лестничных клеток, перераспределением структурных элементов планировки этажа, а иногда и введением в конструктивную схему здания новых стен, столбов и других элементов. Основной целью

полной внутренней перепланировки является получение квартир с размером общей площади, близким к рекомендациям СНиП, с высокой степенью благоустройства.

Ввиду наличия при реконструкции зданий различных условий, усложняющих проектирование, размеры и пропорции жилых комнат могут несколько отличаться от нормативных.

Размещение квартир в плане здания при полной его перепланировке можно свести к следующим основным схемам: односторонней линейной, двухсторонней, угловой и торцевой.

Положительным качеством односторонней линейной схемы является возможность широкого выбора вариантов планировки квартиры, что позволяет легко её вписывать в существующие стены здания с различными конфигурациями и параметрами. К недостаткам этой схемы относится односторонняя инсоляция помещений и иногда проходные комнаты.

При двухсторонней схеме помещения квартиры занимают всю глубину корпуса, что обеспечивает сквозное проветривание и инсоляцию квартиры. Такую схему рекомендуется применять в зданиях с шириной корпуса до 13м.

При угловой схеме помещения квартиры примыкают к двум смежным наружным стенам здания, что обеспечивает двухстороннюю ориентацию помещений, угловое проветривание и достаточную инсоляцию.

Торцевая схема позволяет обеспечить двух- и трёхстороннюю ориентацию, хорошую инсоляцию и проветривание комнат.

Изученный опыт перепланировок старых жилых зданий показывает, что в отличие от нового строительства при реконструкции жилых зданий для сохранения существующих стен допускается небольшое увеличение глубины комнат. С этой же целью допускается изменение соотношения сторон жилых комнат.

Названные положения по перепланировке жилых зданий и обязательному учёту при этом факторов внешней среды могут найти применение при реконструкции опорного жилого фонда городских районов.

При реконструкции актуальна также оптимизация проектирования, т. к. без этого выбранное решение может быть принято с несовершенными переустройствами. Однако осуществить процесс оптимизации при проектировании реконструкции не совсем просто. Сложность разработки вопросов оптимизации проектирования жилой застройки заключается в том, что можно составить множество вариантов проекта реконструкции жилого здания, которые в разной степени будут отвечать различным эксплуатационным, градостроительным и другим требованиям. Метод вариантного проектирования оказывается эффективным в редких случаях, т.к. в связи с многовариантностью задачи вероятность того, что среди интуитивно составленных вариантов будут наиболее экономичные, незначительна. Поэтому из-за отсутствия методов оптимизации для существующих жилых зданий нельзя сравнивать и достаточно полно сопоставлять различные решения по их реконструкции. Возможность успешного проектирования реконструкции жилого здания состоит в фиксации его многих показателей и последующем их сопоставлении с нормативными показателями для зданий нового строительства и для проектов реконструкции аналогичных объектов.

Очевидна актуальность автоматизации процесса проектирования реконструкции жилых зданий, что будет способствовать повышению качества реконструкции за счёт учёта большого числа факторов и переработки большего объёма информации с целью выбора наиболее оптимального варианта.

Таким образом, для развития комплексной проблемы реконструкции опорного жилого фонда и городской среды предлагается совершенствовать её нормативную базу и методику по следующим направлениям:

1) выявление и анализ особенностей жилых кварталов и микрорайонов старого опорного фонда, включая вопросы их исторического развития; разработка приёмов их целесообразной реконструкции с учётом региональных особенностей;

- 2) комплексное решение вопросов улучшения проживания в жилых домах старого жилого фонда применительно к их типовым представителям с учётом факторов городской среды и исторической значимости;
- 3) автоматизация процесса проектирования реконструкции опорного жилого фонда, включая вопросы создания информационно-поисковых систем с периодически обновляемой в них информацией по опорному фонду.

Список литературы

1. Береговой, А.М. Показатели эффективности в системном анализе теплопотерь через энергосберегающие наружные ограждения / А.М. Береговой, О.Л. Викторова, В.А. Береговой // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – №5. – С.57–61.
2. Петрянина, Л.Н. Учёт природно-климатических условий в архитектурном проектировании / Л.Н. Петрянина, М.А. Дерина // Вестник ПГУАС: строительство, наука, образование. – 2016. – №2(3). – С.41–46.
3. Петрянина, Л.Н. Реконструкция городской среды: новая и сложившаяся застройка / Л.Н. Петрянина, М.А. Дерина, П.В. Монастырёв // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №4(29). – С.83–86.
4. Петрянина, Л.Н. К вопросу о моделях реконструкции городов / Л.Н. Петрянина // News of Science and Education. – 2017. – Т.4, №12. – С.051–053.
5. Петрянина, Л.Н. Оценка существующей среды при архитектурно-строительном проектировании / Л.Н.Петрянина // News of Science and Education. – 2017. – Т.4, №12. – С.054–056.

References

1. Beregovoy, A.M. Performance Indicators in the system analysis of energy saving of heat loss through the outer fence / A.M. Beregovoy, O.L. Viktorova, V.A. Beregovoy. – News of higher educational institutions. Construction. – 2009. – No. 5. – P. 57–61.
2. Petryanina, L.N. Records of climatic conditions in architectural design / L.N. Petryanina, M.A. Derina // Bulletin of PGWS: construction, science, education. – 2016. – No. 2(3). – P. 41–46.
3. Petryanina, L.N. Reconstruction of the urban environment: new and existing buildings / L.N. Petryanina, M.A. Derina, P.V. Monastyrëv // Regional architecture and engineering. – 2016. – No. 4(29). – P. 83–86.
4. Petryanina, L.N. To the question about models of urban renewal /L. N. Petryanina // News of Science and Education. – 2017. – Vol. 4, No. 12.– P.051–053.
5. Petryanina L. N. Evaluation of the existing environment in architectural engineering / L. N. Petryanina // News of Science and Education. – 2017. – Vol. 4, No. 12. – P. 054–056.

УДК 72.025.4

Московский архитектурный институт
(государственная академия), кафедра
советской и современной зарубежной
архитектуры

Россия, 107031, Москва, ул. Рождественка,
д. 11/4, корпус 1, стр. 4

Рыбакова Екатерина Юрьевна
E-mail: missfishygirl@mail.ru

Moscow Institute of Architecture (State
Academy), Chair of Soviet and Modern
Foreign Architecture

Russia, 107031, Moscow, 11,
Rozhdestvenka St.

Rybakova Ekaterina Yurievna
E-mail: missfishygirl@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЙ БЕРЛИН. ПРИБЛИЖЕНИЕ К МОДЕЛИ «ЕВРОПЕЙСКОГО ГОРОДА»

Е.Ю. Рыбакова

Рассмотрены районы массовой типовой застройки Восточного и Западного Берлина. Проведен анализ мероприятий, направленных на повышение комфортности проживания, исследованы методы санации жилых районов, сформулированы принципы, благодаря которым Берлин приближается к модели «европейского города». Отмечены положительные стороны и выявлены недостатки программы.

Ключевые слова: санация, модернизация, Ханс Штимманн, критическая реконструкция, Берлин, модель «европейского города»

MODERN BERLIN. APPROXIMATION TO THE «COMPACT CITY CONCEPT»

E.Y. Rybakova

In the article areas of mass standard housing of East and Western Berlin are considered. The analysis of the actions directed to increase in comfort of accommodation is carried out, methods of sanitation of residential areas are investigated, the principles of «compact city concept» are formulated. Positive sides are considered and program shortcomings are revealed.

Keywords: sanitation, modernization, Hans Shtimmann, critical reconstruction, Berlin, «compact city concept»

В настоящее время идея «компактного» или «европейского города» является одной из главных в архитектуре западноевропейских городов. Концепция получила широкое распространение, а также продемонстрировала свою эффективность. Предусматривается компактное развитие города в основном за счет квартальной застройки с хорошо взаимосвязанной системой улиц, что благоприятно как для пешеходов, так и для велосипедистов. Рекреационные зоны и парки выступают в качестве связующих или разделяющих компонентов городской среды.

До 1989 года Берлин заметно отличался от европейских столиц. Со стороны ГДР – типичная социалистическая архитектура, а со стороны Запада, где было больше разрушенных войной зданий, возводились новые кварталы, мало связанные с историей. Но еще в конце 1970-х годов сенат Западного Берлина начал полностью пересматривать градостроительную политику. Под руководством Йозефа Пауля Кляйхуса и Вольфа Зидлера была разработана программа ИВА (Internationale Bauausstellung – Международная строительная выставка), в основу которой положены жесткие регламенты для нового строительства и защита, бережное обновление и модернизация старых кварталов. Таким образом, была предпринята попытка восстановить целостность градостроительной исторической структуры, утраченной во время войны. Воплощение этих идей в рамках санирования жилых кварталов было начато с наиболее неблагополучных районов – Кройцберга и Луизенштадта. Изначально предполагалось полностью снести

ветхое непривлекательное жилье, построенное методом индустриального домостроения, выселив людей, но это решение властей было встречено массовым недовольством граждан и впоследствии отклонено. В результате сенатом был выработан документ «12 принципов бережной реконструкции», согласно которому все проекты градостроительных преобразований должны быть вынесены на обсуждение общественности [1].

В 1989 году после объединения Берлина потребовались серьезные архитектурные, градостроительные и социальные мероприятия для восстановления нормальной жизни города. Помимо разрушенной транспортной инфраструктуры остро стоял вопрос реконструкции и переоснащения жилого фонда. Сенатом по делам жилья и строительства, который возглавил Ханс Штимманн, была начата порайонная программа по восстановлению и объединению города и превращению его в процветающую европейскую столицу.

Эта программа, получившая название «Критическая реконструкция», была продолжением долгосрочного проекта ИВА 87, разработанного еще для Западного Берлина и перенесенного Х. Штимманном на обе части города с применением жесткого строительного регламента. Одним из важных этапов осуществления программы было проведение комплекса мероприятий по улучшению качества жилья, повышению его энергоэффективности, приданию ему эстетического облика. Основной целью жилищной стратегии было не просто обеспечение людей жильем, а решение социально-политических проблем. Важный аспект при реализации данной программы заключался в стремлении приблизиться к модели «европейского города», которую Ханс Штимманн определяет, как пространство, максимально ориентированное на человека, в противовес «американской модели», где все подчинено транспорту.

Опыт модернизации жилого фонда Берлина актуален не только для стран бывшего соцлагеря, но и для Европы, где в 1960-80-е годы велась массовая высотная застройка микрорайонов социального жилья. Проблема реконструкции панельного домостроения Восточного Берлина освещалась в прессе и профессиональных изданиях довольно широко. Суждения на эту тему высказывали многие отечественные архитекторы, историки, журналисты и искусствоведы. Среди них были: А. Высоковский, А. Хомяков, С. Чобан, Г. Ревзин, В. Седов, В. Бабуров, Н. Малинин, М. Айхнер, Д. Титов и др., что показало пристальный интерес российских специалистов к данной проблеме.

Если конкретизировать поставленные задачи и итоги санации на примере районов Западного и Восточного Берлина, то на основе исследования программы модернизации, проходившей в рамках «критической реконструкции», можно сформулировать ряд факторов, приближающих Берлин к модели «европейского города», и систематизировать мероприятия по санации жилых районов. Начать обзор следует с Восточного Берлина, так как за годы социалистического строя в нем было возведено большое количество типового панельного жилья.

С 1989 года сенатору Штимманну приходилось решать множество проблем, связанных с объединением города. Одной из значимых составляющих его деятельности стало воссоздание и обустройство исторического ядра Берлина. Но к не менее важным задачам нужно отнести вывод за черту города неэффективных предприятий, реконструкцию и перепрофилирование производственных зон, осуществление масштабной модернизации панельных микрорайонов, таких, как Марцан, Хеллерсдорф, Хоэншенхаузен, Гропиусштадт и др. Качество жилья Восточного Берлина требовалось довести до уровня Запада. После многочисленных дебатов и экспертиз было принято решение провести модернизацию существующего жилого фонда, направленную на повышение энергоэффективности зданий.

В 1980-х годах начались работы по реконструкции центральных районов Берлина с переуплотненной застройкой, производившиеся с особой осторожностью, с соблюдением требований, соответствующих исторической структуре города, которая характеризовалась квартальной системой. Нужно отметить, что за основу был взят исторический план Берлина 1930-х годов XX века. Новое внутригородское строительство было подчинено старому архитектурно-градостроительному масштабу и исторически

сложившемуся пространственному объему. При этом объекты отвечали современным конструктивным требованиям. Особенности внутригородского строительства, в сравнении с застройкой новых районов, являются небольшие масштабы (междомовые пространства, пустующие территории, места разрушения старых домов).

С 1993 по 2002 год был осуществлен начальный и основной этап санации, в результате которого 60 % панельных домов было модернизировано полностью, 25 % – частично [3]. В результате модернизации улучшились качество жилья и условия проживания, сократились расходы на его содержание, повысились энергоэффективность квартир и привлекательность кварталов.

Одна из главных задач модернизации – энергосбережение. Для ее решения был проведен ряд мероприятий: модернизация ТЭЦ, наружное утепление фасадов, крыш и чердачных перекрытий, переоборудование подвальных помещений, установка теплосберегающих окон и дверей, счетчиков по потреблению энергии и воды. Помимо мероприятий по энергосбережению зданий были заменены лифты, проложены новые трубы канализации и водоснабжения, модернизирована система вентиляции, установлены домофоны и системы пожарной безопасности, в квартирах обновлена сантехника, электропроводка, отопительные приборы. Жильцов при этом не отселяли, так как работы проводились в строго запланированные, кратчайшие сроки.

Стандартная планировка серийных панельных домов зачастую не отвечала потребностям жильцов (район Лихтенберг). В программу модернизации вошли мероприятия по увеличению площади жилья путем объединения двух стандартных квартир в одну при сохранении несущих стен и привязке сантехнических помещений к общедомовой системе. Все подъезды были переоборудованы, оснащены стеклянной герметичной дверью. Мусоропроводы из домов демонтированы с целью сортировки мусора жильцами.

Большое внимание уделялось вновь сформированным кварталам в процессе санации. Квартал – это основная единица городской структуры. Человек воспринимает город в целом сквозь призму своего локального места проживания (квартира, дом, квартал). Архитекторы стремятся создать комфортную среду для жителей, развивая как внутриквартальную инфраструктуру, так и транспортную доступность от места жительства до любой точки города.

Придомовая территория – важная составляющая комфортного проживания. Безопасный двор, просматриваемые дорожки, освещенная и озелененная территория, светлые подъезды, прозрачные двери – все это дает человеку ощущение защищенности, единения с природой в мегаполисе. В некоторых микрорайонах за квартирами на первых этажах были закреплены земельные участки с отдельным выходом в небольшой садик. Территории дворов переделали в парки, ландшафтные объекты, организовали небольшие пруды, тем самым повысив потребительские качества жилья. За счет демонтажа некоторых плотно стоящих домов были организованы парковочные места, интегрированные в панораму двора путем их озеленения. Дворы без автомобилей делают saniрованные микрорайоны приближенными к идеалу «европейского города».

В районах с переуплотненной «гребенчатой» застройкой (Марцан-Хеллерсдорф) для образования системы замкнутых кварталов, а также для расширения возможностей планировочных решений квартир были достроены нетиповые дополнительные секции. Образованные таким образом кварталы приобрели приватные внутренние территории.

Для улучшения архитектурного облика, а также устройства квартир с увеличенной площадью и повышенной комфортностью был образован микрорайон Аренсфельде-Террасе путем разбора верхних секций 11-этажных панельных домов до 3-6-этажных с террасами на крыше. Важно, что после санации все объекты были приспособлены для маломобильных групп населения.

Транспортная доступность районов Восточного Берлина в процессе модернизации улучшилась, остановочные пункты U-bahn, S-bahn и трамвая находятся в шаговой доступности и взаимосвязаны между собой, вследствие чего у жителей нет необходи-

мости использовать личный транспорт. Во время реновации микрорайонов удалось частично создать рабочие места, а также развить социальную инфраструктуру.

Программа модернизации Восточного Берлина осуществлялась за счет средств государственного бюджета и инвесторов, а энергосберегающая модернизация позволила контролировать рост тарифов на отопление и горячую воду. Типовое панельное домостроение и проблемы, возникающие в районах такой застройки, ассоциируются зачастую только с социалистическими странами. Однако в 1960-е годы в Западном Берлине на пустующих незастроенных территориях также возводились крупные жилые массивы: Меркишес Фиртель (на севере), Буков Рудов (на юге) и Фалькенхагенер Фельд (на западе). Они были рассчитаны почти на 50 тыс. жителей каждый. Это было вызвано ограниченной территорией Западного Берлина, а также проблемой нехватки жилья. Панельные сооружения пользовались большой популярностью, потому что старые здания, сохранившиеся после войны, приходили в негодность, горожане предпочитали жить в современных, только что отстроенных комфортных многоэтажках. Так как основной задачей было обеспечение людей жильем, то социальной инфраструктуре, созданию рабочих мест, благоустройству территорий не уделялось должного внимания. Район Меркишес Фиртель (архитекторы Ханс Мюллер, Георг Хайнрихс, Вернер Дюртманн) был застроен с 1962 по 1974 год в основном высотными панельными домами до 18 этажей (возведение панельных домов происходило быстро и обходилось государству относительно недорого). Комплекс был удален от центра и основных промышленных предприятий – это был типичный спальный район (в отличие от ГДР, где жилые кварталы были расположены рядом с местами приложения труда).

Основные центральные районы Западного Берлина, такие, как Шарлоттенбург и Вильмерсдорф, мало пострадали в войну, поэтому в первую очередь жилье реконструировали и восстанавливали именно там.

«Программа реконструкции городов – Запад» была принята в 2006 году, когда стал очевиден положительный результат модернизации восточных районов. После падения Стены люди предпочитали селиться в старых отреставрированных кварталах Берлина или в уже санитованных энергоэффективных домах. До 1980-х годов на поддержку строительства жилья в ФРГ тратились большие государственные средства, потом в связи с насыщением спроса они были сокращены [3]. Предложений на рынке жилья становилось все больше. Это привело к тому, что со временем огромные районы на окраинах Западного Берлина стали превращаться в неблагополучные с пустующими квартирами. Поэтому для Западного Берлина потребовалось создать программу модернизации жилья, которая включает в себя аналогичные методы и цели, что и Программа по модернизации Восточного Берлина. Предложение на рынке недвижимости, превышающее спрос, привело к активному участию собственников в реконструкции жилья, так как собственники – крупные компании – были заинтересованы в том, чтобы в домах не было пустующих квартир, а бывшие депрессивные районы становились привлекательными. Государство лишь частично финансирует программу. Предпринимаются меры по поиску инвесторов для дальнейшей модернизации жилья. Изыскиваются способы для привлечения новых жильцов, ведется разъяснительная работа.

Основная цель реновации Берлина – приближение к модели «европейского» или «компактного» города. При подробном рассмотрении способов санации жилья были выявлены следующие характеристики этой модели:

- Разнотипная уплотненная застройка, для которой характерны более низкие энергозатраты, шаговая доступность до объектов инфраструктуры. Увеличение плотности застройки ведет к расширению сферы услуг и созданию рабочих мест в непосредственной близости от жилья.
- Широкий ценовой диапазон квартир предполагает заселение людей с разной степенью достатка и культуры.
- Приоритет общественного транспорта над личным. Европейский город – город людей, а не автомобилей, имеет развитую систему общегородского транспорта с пеше-

ходными зонами и велосипедными дорожками. Развитая уличная сеть, состоящая из узких улиц, аллей, бульваров, облегчает движение пешеходов и разуплотняет транспортные потоки.

- Формирование и развитие публичных пространств для обеспечения высокого качества городской жизни.

- Квартальная застройка, отказ от структуры микрорайонов. Создание уютных дворов внутри квартала и обеспечение высокой транспортной доступности. Масштаб квартала значительно меньше масштаба микрорайона, что способствует комфортному проживанию, а также развитию привязанности людей по отношению к своему городу.

- Отказ от зонирования города по функциональному признаку: работа и жилье в одном районе, что предотвращает смешение транспортных потоков и позволяет избежать маятниковой миграции населения.

Движение к модели «европейского города» – это длительный процесс. Концепция складывается в короткие сроки, а реализация требует продолжительного времени, что связано с сопротивлением не только управленческих структур, экономических факторов, политических сил, но и самих горожан. За неполные 30 лет Берлину удалось приблизиться к этой модели благодаря последовательно проводимой реформе, начатой Х. Штимманном и продолжающейся до сегодняшних дней. Многие из задуманного не было исполнено по причине недостаточности финансирования и политических разногласий. Существуют и просчеты, признанные самим Штимманном. В Берлине сейчас насчитывается около 108 тысяч пустующих квартир, находящихся в основном в панельных многоэтажках на окраинах города. Это результат возведения социального жилья, предпринятого после объединения Берлина. Все еще сохраняются проблемы трудоустройства горожан рядом с местом проживания; организации транспортного сообщения между окраинами и центром; сохранения и улучшения естественной и искусственно созданной окружающей среды, в том числе бывших промышленных территорий. В настоящее время все предприятия, когда-то функционировавшие в городе, выведены за его пределы.

Анализ изученного материала показывает, что при всех недостатках результаты реконструкции дали экономическую, экологическую и социальную эффективность. При разработке программы реконструкции целью Х. Штимманна было улучшение жизни всех социальных групп населения, создание хороших условий проживания, работы, учебы и отдыха, оздоровление окружающей среды, а также обеспечение горожан рабочими местами (развитие предприятий, привлечение инвесторов) и тем самым повышение имиджа города. Были созданы дружелюбная визуальная среда, безбарьерное пространство, благоустроена территория, места общего пользования связаны в единую систему дополняющих друг друга элементов, развита общественная транспортная сеть – все это сделало жилье комфортным, улучшило демографические показатели и социальный состав населения. Санитарные дома не только соответствуют европейским стандартам для нового строительства (EnEv 2007), но и превосходят их на 30-50 % [4].

Список литературы

1. Иконников, А.В. Архитектура XX века: утопии и реальность. Т.2 / А.В. Иконников. – М.: Прогресс-Традиция., 2002. – 672 с.

2. Шварц, Б. Энергосберегающая санация типовых жилых зданий: немецкий опыт для российских регионов [Аналитический сборник материалов семинаров] // [Инициатива жилищного хозяйства в Восточной Европе (ИВО)] / Б. Шварц, А. Белов. – Берлин, 2009. – URL: http://www.iwoev.org/fileadmin/Dokumente/Downloads/Berichte/GIZ-Schwarz_131101.pdf (дата обращения: 19.03.2017)

3. Баке, О. Социально ориентированное местное управление: опыт городов Германии для России – Sozial orientierte kommunalpolitik: Die erfahrung Deutscher städte als beispiel für Russland / [О. Бааке, Л. ван ден Берг, О Бертен и др.]; под ред

Б.М. Гринчеля, Н. Е. Костылевой; Рос. акад. наук. Ин-т соц.-экон. проблем, Ин-т Евроград. – СПб.: Наука, 1999. – 387 с.

References

1. Ikonnikov, A.V. Twentieth century architecture: utopia and reality. Vol. 2 / A.V. Ikonnikov. – M.: Progress-Tradition., 2002. – 672 p.
2. Schwartz, B. Energy-efficient sanitation of the typical residential buildings: the German experience in Russian regions [Analytical Sourcebook workshops] // [Initiative on housing in Eastern Europe (IWO)] / B. Schwartz, A. Belov. – Berlin, 2009. – URL: http://www.iwoev.org/fileadmin/Dokumente/Downloads/Berichte/GIZ-Schwarz_131101.pdf (date accessed:19.03.2017)
3. Baake, O. Socially oriented local governance: the experience of Germany for Russia – orientierte kommunalpolitik Sozial: Die erfahrung Deutscher städte als beispiel für Russland / [O. Baake, L. van den Berg, berten et al.]; under ed B. M. Grinchel, N. E. Kostyleva; ROS. Acad. Sciences. In-t SOC. – Ekon. problems, In-t evrograd. – SPb.: Science, 1999. – 387 p.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 69.007-05

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

Резник Семён Давыдович,
доктор экономических наук, профессор,
зав.кафедрой «Менеджмент»
E-mail: disser@bk.ru

Вдовина Ольга Александровна,
кандидат педагогических наук,
доцент кафедры «Менеджмент»
E-mail: olga16.08@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

Reznik Semyon Davidovich,
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Head of the department «Management»
E-mail: disser@bk.ru

Vdovina Olga Aleksandrovna,
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate
Professor of the department «Management»
E-mail: olga16.08@mail.ru

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ В СТРОИТЕЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

С.Д. Резник, О.А. Вдовина

Рассмотрены проблемы подготовки преподавателей строительного университета, обобщены оценки преподавателями уровня своей предметной и методической подготовки, предложены способы формирования навыков педагогического труда, определены возможности университетов, факультетов и кафедр в развитии профессиональных компетенций своего преподавательского корпуса.

Ключевые слова: строительный университет, преподаватель, педагогическая подготовка, повышение квалификации, опыт, перспективы

EXPERIENCE AND PERSPECTIVES OF PEDAGOGICAL TRAINING AND PROFESSIONAL IMPROVEMENT OF UNIVERSITY TEACHERS

S. D. Reznik, O. A. Vdovina

The problems of training of teachers of a civil engineering University are considered. The teachers evaluation of the level of their subject and methodological are training. Methods of the formation of skills of pedagogical work, the possibilities of universities, faculties and departments in the development of professional competences of the teaching staff are defined.

Keywords: a civil engineering university, teacher, teacher training, professional improvement, experience, perspectives

Введение

Подготовка кадров для строительной отрасли требует от преподавателя университета не только высокого уровня знаний, но и сформированности методических, педагогических и психологических компетенций. Для успешной педагогической деятельности в строительном университете принципиально необходимым является единство научной, инженерной и педагогической подготовки преподавателей.

Значительная часть преподавательских кадров строительных вузов – выпускники аспирантуры. Занимаясь научным исследованием в процессе подготовки и написания диссертации, они отстают в овладении педагогическим мастерством. В существующей системе подготовки кадров для высшей школы не разработано специальной технологии подготовки преподавателей для работы в вузах непедagogического профиля.

В целях изучения проблем педагогической подготовки и повышения квалификации преподавателей высших учебных заведений, разработки на этой основе технологий развития их профессионально значимых компетенций и механизмов управления этими процессами Пензенский государственный университет архитектуры и строительства в рамках реализации проекта «Система и механизмы формирования и развития профессиональных компетенций преподавателя современного высшего учебного заведения» провел комплексное исследование деятельности преподавателя современного российского вуза [1].

В мониторинге приняли участие свыше 400 преподавателей государственных вузов Пензенской области, что составляет 20 % от общей численности преподавателей вузов пензенского региона. В качестве экспертов к исследованию проблем профессионального становления преподавателя высшего учебного заведения были привлечены 22 высококвалифицированных специалиста в области педагогики высшей школы, представляющих 11 университетов различных регионов России.

Состав преподавателей

В составе опрошенных преподавателей оказались мужчины – 29,5 % и женщины – 70,5 %. Подобное соотношение численности работников высших учебных заведений согласно данным государственной статистики наблюдается и в целом по России: мужчины – 37 %, женщины – 63 %. Возможно, это соотношение связано с тем, что часто для мужчин преподавательская работа не является основной деятельностью: некоторые имеют свой бизнес, другие совмещают преподавание с работой на производственных предприятиях.

Значительную долю опрошенных составили преподаватели в возрасте от 26 до 40 лет (43,8 %) и старше 50 лет (31,9 %). В числе респондентов в возрасте от 40 до 50 лет лишь 17 %, что отражает возрастную структуру преподавательского корпуса вузов Пензенской области. Средний возраст преподавателей составил 42,7 года [1]. Конец 1990-х–начало 2000-х – время, когда выпускники вузов неохотно оставались преподавать на кафедрах и интерес к науке снижался во многом из-за устаревшей лабораторной базы и сокращения финансирования. Кроме того, подчеркивается, что падение престижа фундаментальных исследований не стимулирует приток в науку молодых специалистов. Необходимы скоординированные коллективные действия по оптимизации всей структуры и деятельности образовательной системы [2].

Большой стаж работы преподавателей может говорить не только о значительном опыте педагогической деятельности, но и о консервативности в выборе методов и средств обучения, неготовности к разработке и внедрению инноваций в учебный процесс.

Треть опрошенных преподавателей по базовому образованию – инженеры, еще треть – экономисты и менеджеры, преподавателей педагогических специальностей в числе опрошенных – 16 %. Полученные данные свидетельствуют о том, что преподаватели вузов в основном не имеют педагогической подготовки, они могут хорошо владеть предметным содержанием учебных дисциплин, но не имеют знаний по организации образовательного процесса, не знают методик преподавания, они вынуждены приобретать эти навыки опытным путем [3].

Профессиональные компетенции преподавателя и уровень их сформированности

В современных условиях российская высшая школа должна предъявлять особые требования к преподавателю вуза. Именно ему принадлежит стратегическая роль в развитии личности студента в ходе профессиональной подготовки. Компетентностный подход в образовании может быть реализован лишь в том случае, если сам преподаватель обладает необходимыми компетенциями, что актуализирует вопрос профессиональной подготовки педагогических кадров для высшей школы [4].

Для преподавателя профессиональные знания – это знание не только своего предмета, но и педагогической техники, владение методами и приемами обучения. «Передача» знаний студентам – процесс довольно сложный. Задача преподавателя строительного университета заключается вовсе не в том, чтобы поделиться имеющейся информацией и научными фактами с обучающимися. Его целью должно стать формирование гибкости мышления студента и навыков конструирования, развитие у него умения адаптироваться к быстроменяющимся условиям жизни и профессиональной деятельности.

Важнейшая составляющая деятельности преподавателей – оценка ее эффективности, критериями которой становятся не только глубокие научные знания. В современных условиях подготовки инженера-строителя от педагога требуются умение моделировать в учебном процессе профессиональную деятельность будущего специалиста, организовывать самостоятельную конструкторскую и исследовательскую деятельность студентов, владение активными методами проблемного обучения [5].

Успех в любой профессиональной деятельности зависит от степени владения профессиональными знаниями, от способностей, от стремления работать и достигать высоких результатов, от готовности к выбору оптимальных способов выполнения трудовых задач. Так считают 100 % экспертов. Однако 64 % опрошенных преподавателей считают, что успех профессиональной деятельности незначительно зависит от уровня профессиональной компетентности, а около 6 % респондентов вообще не видят в этом никакой зависимости. Подобная позиция не обеспечивает использования всех возможностей для развития профессионально-педагогической компетентности преподавателя университета, однако не освобождает руководство вузов от создания необходимых условий для формирования и развития профессиональных навыков преподавателей.

Уровень своей профессиональной (предметной) подготовки преподаватели оценивают как высокий, в то время как уровень методической подготовки и владения педагогическими технологиями оценивают как средний (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Оценка уровня методической подготовленности, владения педагогическими технологиями и частными методиками

Уровень предметной и методической подготовленности преподавателя	Удельный вес респондентов, %	
	Предметная подготовленность	Методическая подготовленность
Высокий	49,4	30,0
Средний	47,4	61,5
Низкий	3,2	8,5
Итого	100,0	100,0

Можно заметить, что чем больше опыт преподавательской работы, тем респонденты более критичны в оценке своей методической подготовленности: свыше 90 % тех, чей стаж превышает 15 лет, оценивают уровень владения педагогическими технологиями как средний.

Отметим, что в первые годы работы молодой преподаватель строительного университета первостепенное внимание уделяет предметной, а не психолого-педагогической подготовке, именно поэтому 60 % опрошенных преподавателей характеризуют уровень своей предметной подготовки как высокий [6].

Высокий уровень сформированности исследовательской компетентности как особой формы существования знаний, умений, образованности в целом позволяет преподавателю переносить принципы исследовательского подхода на другие сферы своей деятельности, применять их в различных педагогических ситуациях. В частности, в практике руководства научной работой студентов большинство преподавателей отмечают достаточно хороший уровень владения методикой (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Владение методикой руководства научной работой студентов

Владение методикой руководства научной работой студентов	Удельный вес респондентов, %
Владеют на высоком уровне	13,8
Владеют на достаточно хорошем уровне	64,0
Владеют недостаточно	18,2
Не владеют совсем	4,0
Итого	100,0

Дискуссионным остается вопрос, когда начинать формирование ключевых компетенций преподавателя вуза. По мнению 86 % экспертов, основные профессиональные педагогические умения начинать формировать следует во время обучения в аспирантуре, 68 % – еще на этапе бакалавриата и магистратуры, 32 % отмечают, что не поздно начинать старшим преподавателям и доцентам.

Оценка системы подготовки и повышения квалификации преподавателей

Подготовка преподавательских кадров для строительных университетов – проблема многолетняя и на сегодняшний день ставшая еще более актуальной. При отсутствии внутривузовской системы отбора и подготовки будущих преподавателей усилий отдельных кафедр недостаточно, кроме того, не каждая кафедра строительного университета может самостоятельно обеспечить необходимый уровень подготовки преподавательских кадров.

Часто определяющее значение в развитии профессионализма преподавателя играют субъективные факторы: потребность в самореализации творческого потенциала, устойчивость научных интересов, методологическая культура педагога и ученого и потребность в коллективном творчестве. В качестве основных мотивов повышения собственной квалификации преподаватели называют потребность в новых знаниях (56 %), потребность расширить кругозор, повысить образовательный и культурный уровень (51 %), внутреннюю потребность развиваться (22 %), желание лучше выполнять свою работу (22 %). При этом потребность в новых знаниях является преобладающей для преподавателей со стажем до 20 лет, постоянная потребность повышать свой культурный и образовательный уровень отличает более опытных преподавателей, проработавших свыше 15 лет (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Мотивы повышения квалификации преподавателей

Мотивы повышения квалификации	Количество респондентов, %
Потребность в новых знаниях	55,9
Наличие пробелов в знаниях	7,7
Внутренняя потребность	22,3
Желание не отставать от коллег	7,7
Желание лучше выполнять свою работу	22,3
Потребность расширить кругозор, повысить образовательный и культурный уровень	51,4
Повышение в должности	7,7
Перспектива поиска новой работы	7,7

Приоритетность вопросов повышения квалификации преподавателей эксперты ранжировали следующим образом: на первом месте освоение передового педагогического опыта, на втором – новые педагогические технологии в профессиональном образовании, далее – проблемы психологии обучения и воспитания, проблемы дидактики (теории обучения), проблемы истории и теории педагогики. Такое ранжирование в целом совпадает с определением преподавателями приоритетности вопросов повышения квалификации.

В последние годы в системе высшего образования, к сожалению, практически отказались от требования обязательного периодического повышения квалификации всех преподавателей; этим, на наш взгляд, обусловлен тот факт, что 22 % респондентов проходили повышение квалификации в организованной форме более 10 лет назад.

Опыт педагогической подготовки и повышения квалификации преподавателей в строительном вузе

Ресурсы вуза, которые могут быть направлены на поддержку педагогов, всегда ограничены, невозможно полностью решить все выявленные пробелы, обнаруженные в деятельности преподавателей. Главный методологический принцип – соответствие системы развития профессиональной компетентности преподавателя высшего учебного заведения тем изменениям, которые происходят в образовании, науке, технике, технологиях [7].

По мнению 95 % опрошенных экспертов, формирование и развитие компетенций преподавателя вуза – его забота, 82 % экспертов отмечают, что развитием профессиональной компетентности преподавателя должен заниматься вуз, 68 % экспертов указывают на необходимость участия кафедры в этом процессе. Мнения о роли государства в вопросах формирования компетенций разошлись: 45 % экспертов отмечают необходимость участия государства, 27 % считают, что государство не должно участвовать.

Преподавателей «от Бога» в университет никто «со стороны» не пришлёт, выращивать, готовить их для себя должен он сам [8].

Особое значение приобретает механизм управления учебно-педагогическим процессом на уровне коллектива кафедры, где больше возможностей оценить деятельность каждого преподавателя, отследить эффективность использования выбранных им технологий и методов обучения.

Основным инструментом управления деятельностью преподавателя на уровне кафедры является его индивидуальный план, позволяющий выстроить систему взаимосвязанных действий по организации учебной, научной и воспитательной работы. Планирование позволяет педагогу расставить приоритеты, распределить собственные силы и время, а руководителю – контролировать учебно-воспитательный процесс, координировать деятельность как каждого педагога, так и всего профессорско-преподавательского состава.

Для профессионального становления преподавателя необходимо создание в вузе определенных условий. Это обеспечение высокой информационной насыщенности (библиотечный фонд, интернет), возможность непрерывного образования, развития профессиональной компетентности (проведение научно-практических конференций, семинаров), социально-психологический климат коллектива, поддержка преподавателей в их профессиональной деятельности (научная школа, преподавательский состав кафедр), организационная культура вуза, возможность вступать в административное взаимодействие и участвовать в жизни вуза [9].

Большое значение для эффективной организации работы с будущими преподавателями высшего учебного заведения играет формирование преподавательского резерва. В таком резерве могут быть представлены несколько групп: сегодняшние студенты (магистры, аспиранты) как будущие преподаватели; начинающие преподаватели (работающие на кафедрах 1–2 года); молодые ученые (соискатели ученой степени или недавно защитившие кандидатские диссертации).

Значительное место в отборе и обучении преподавателей в нашем университете занимает подготовка к преподавательской работе. Это может быть: подготовка и выступление с докладами на заседаниях кафедры; участие в заседаниях кафедры, методических семинарах; разработка и совместное проведение занятий с преподавателями кафедры; поиск новой информации по темам занятий и участие в ее адаптации и использовании на занятиях; подготовка совместных с преподавателями кафедры научных и научно-методических публикаций; составление учебных текстов к занятию, разработка кейсов; разработка мультимедийных презентаций для занятий и др.

В целях формирования мотивации и развития интереса к научно-педагогической деятельности в Институте экономики и менеджмента Пензенского государственного университета архитектуры и строительства реализуется проект «Школа молодого преподавателя», в числе основных целей которого – формирование профессиональной компетентности студента как научного деятеля и преподавателя вуза, предоставление базовых сведений о педагогической деятельности ученого, оказание помощи в выборе направления научных интересов.

Формами подготовки начинающих преподавателей со стажем 1–2 года в нашем строительном университете стали не только обучение на внутривузовских курсах педагогической подготовки и повышения квалификации, но и участие в работе методического семинара кафедры, в работе проектных групп под руководством более опытных преподавателей кафедры, что обеспечивает повышение уровня педагогических знаний и умений, их взаимосвязь с инженерными знаниями.

Пензенским государственным университетом архитектуры и строительства совместно с рядом ведущих вузов подготовлен методический комплекс «Менеджмент в высшей школе», охватывающий объекты и субъекты управления в вузе. Ключевая роль в этом управленческом комплексе отводится преподавателям. Учебно-практическое пособие «Преподаватель вуза: технологии и организация деятельности» [10] призвано помочь молодому преподавателю найти ответы на волнующие его вопросы, дать нужные ориентиры для его очень непростой работы.

Обобщая опыт подготовки и повышения квалификации преподавателей строительного университета, обозначим основные механизмы управления формированием и развитием профессиональных компетенций преподавателя.

Во-первых, это разноуровневая научно-методическая работа, предполагающая включение преподавателя в разнообразные формы и методы педагогической, исследовательской деятельности на основе учета его научных интересов, ценностных и морально-нравственных установок: наставничество опытных преподавателей, посещение аудиторных занятий по дисциплине, проводимых профессором или доцентом, методические семинары кафедры, участие в подготовке учебно-методических комплексов, посещение открытых занятий с их последующим обсуждением.

Во-вторых, специальная педагогическая подготовка преподавателей: организация лекций и семинаров по психологии и педагогике высшей школы, учеба молодых преподавателей на курсах и факультетах повышения научно-педагогической квалификации.

В-третьих, стимулирование исследовательской деятельности в вузе: повышение мотивации научно-исследовательской работы, содействие внедрению научных результатов в практику и в образовательный процесс, использованию преподавателем своей интеллектуальной собственности при организации учебной и научной работы студентов.

В-четвертых, стажировки преподавателей в ведущих вузах и на предприятиях.

Выводы:

1) Численность преподавателей российских вузов неуклонно снижается, число выпускников, желающих остаться на преподавательской работе в вузах, с каждым годом становится все меньше, средний возраст преподавателей растет. Освоение педагогической деятельности происходит у преподавателей чаще всего уже после их поступления на преподавательскую работу в вуз. Преподаватели гораздо выше оценивают уровень своей предметной подготовки, чем методическую подготовленность и владение педагогическими технологиями.

2) Основными проблемами в подготовке преподавателей к педагогической деятельности являются: отсутствие специальной психолого-педагогической подготовки у значительной части преподавательского корпуса строительного университета и недостаточная готовность преподавателей к использованию в своей практике образовательных нововведений.

3) Формирование и развитие компетенций преподавателя вуза является важной задачей руководства вуза, факультетов и кафедр. Решение этой задачи может быть обеспечено включением преподавателя в разнообразные формы и методы педагогической и исследовательской деятельности, проведением постоянных методических семинаров кафедры, посещением открытых занятий с их последующим обсуждением, содействием внедрению научных результатов в практику и в образовательный процесс, использованию преподавателем своей интеллектуальной собственности при организации учебной и научной работы студентов, стажировками преподавателей в ведущих вузах страны и за рубежом, использованием специальных учебников по преподавательскому мастерству.

Список литературы

1. Резник, С.Д. Преподаватели вузов России: формирование и развитие профессиональных компетенций: монография /С.Д. Резник, О.А. Вдовина. – М.: ИНФРА-М, 2016.
2. Данилов, А.М. ВУЗ как система / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, А.А. Киселев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №3. – С.138–143.
3. Резник, С.Д. Кто становится преподавателем: мотивы выбора педагогической деятельности в вузе /С.Д. Резник, О.А. Вдовина // Университетское управление. – 2015. – №3. – С. 112–119.
4. Управление компетенциями: структура, институты, механизмы: монография / под общ. ред. Р.М. Нижегородцева и С.Д. Резника. – М.: ИНФРА-М, 2016.
5. Рынки труда и образовательных услуг России: реалии и перспективы: монография / под общ. ред. С.Д. Резника, Р.М. Нижегородцева, Г.А. Резник. – М.: ИНФРА-М, 2016.
6. Вдовина, О.А. Приоритеты деятельности преподавателя российского вуза / О.А. Вдовина, С.Д. Резник // Друкеровский вестник. – 2016. – №3 (11). – С. 151–159.
7. Резник, С.Д. Особенности и организация работы в вузе / О.А. Вдовина, С.Д. Резник // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. – 2015. – №2. – С. 5–16.
8. Розов, Н.Х. Профессия – преподаватель / Н.Х. Розов // Вестник Московского университета. Серия 20: Педагогическое образование. – 2016. – №2. – С. 3–9.
9. Резник, С.Д. Профессиональные компетенции преподавателя современного университета: механизмы управления формированием и развитием / С.Д. Резник, О.А. Вдовина // Вестник Московского университета. Серия 20: Педагогическое образование. – 2017. – №1. – С. 67–83.
10. Резник, С.Д. Преподаватель вуза. Технологии и организация деятельности / С.Д. Резник, О.А. Вдовина. – М.: ИНФРА-М, 2013.

References

1. Reznick, S.D. Professors of universities of Russia: formation and development of professional competences: monograph /S.D. Reznik, O.A. Vdovina. – M.: INFRA-M, 2016.
2. Danilov, A.M. University as a system / A.M. Danilov, I.A. Garkina, A. Kiselev //Regional architecture and engineering. – 2015. – No. 3. – P. 138–143.
3. Reznick, S.D. Who becomes a teacher: motives for choosing the teaching profession in higher education /S.D. Reznik, O.A. Vdovina.// University management. – 2015. – No. 3. – P. 112–119.

4. Competence management: structure, institutions and mechanisms: monograph / Under the General editorship of R. M. Nizhegorodtsev and S. D. Reznick. – М.: INFRA-M, 2016.
5. Labor markets and educational services in Russia: realities and prospects: monograph / ed. by S. D. Reznick, R. M. Nizhegorodtsev, G. A. Reznick. – М.: INFRA-M, 2016.
6. Vdovina, O.A. Priorities of activity of the teacher of a Russian University / O.A. Vdovina, S.D. Reznick // *Drucеровский вестник*. – 2016. – №3 (11). – P. 151–159.
7. Reznick, S.D. Features and organization of work at the University / S.D. Reznick, O.A. Vdovina // *Bulletin of the Volgastate technological University. Series: Economy and management*. – 2015. – No. 2. – P. 5–16.
8. Rozov, N.H. Profession – teacher /N.H. Rozov // *The Moscow University Bulletin. Series 20. Pedagogical Education*. – 2016. – No. 2. – P. 3–9.
9. Reznick, S.D. Professional competence of the teacher of the modern University: mechanisms of formation and development / S.D. Reznick, O.A. Vdovina // *The Moscow University Bulletin. Series 20. Pedagogical Education*. – 2017. – No. 1. – P. 67–83.
10. Reznick, S.D. Teacher of the University. Technology and organization of activities / S.D. Reznick, O.A. Vdovina.– М.: INFRA-M, 2013.

УДК 69.003.13

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

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

Penza State University of Architecture
and Construction

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

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАЕМНЫХ СРЕДСТВ КАК ФАКТОР УЛУЧШЕНИЯ ФИНАНСОВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

Т.В. Учаева

Рассмотрены показатели рентабельности предприятия и пути их повышения. В качестве способа повышения рентабельности выбрано привлечение заемных средств, рассчитан эффект финансового рычага, который доказал эффективность предложенных мероприятий.

Ключевые слова: рентабельность, доходность, коэффициенты рентабельности, заемные средства, эффект финансового рычага

BORROWED FUNDS AS A FACTOR OF IMPROVING THE FINANCIAL POSITION OF AN ENTERPRISE

T.V. Uchaeva

The profitability of an enterprise and the ways of their improvement are analysed. As a way of the increase of the profitability borrowed funds are suggested. The effect of financial leverage, which proved the effectiveness of the proposed measures is calculated.

Keywords: profitability, profitibility, profitability ratios, borrowed funds, leverage effect

Современная Россия перешла от планово-централизованной системы хозяйствования к рыночной экономике. При нестабильной экономике в мире руководители и собственники компаний уделяют больше времени деятельности своих предприятий и анализу его финансового состояния. Финансовый анализ позволят объективно оценить состояние фирмы (доходность и эффективность деятельности), охарактеризовать ее платежеспособность, а затем по результатам анализа принять решения по дальнейшему развитию и управлению компанией.

В настоящее время в мировой учетно-аналитической практике используются десятки показателей для оценки состояния компаний: рентабельность активов, продаж, собственного капитала, оборачиваемость активов, стоимость компании и другие. Все показатели могут являться объектами управления и характеризовать ход того или иного процесса компании.

Термин «рентабельность» происходит от слова «рента», что означает доход. Таким образом, рентабельность означает прибыльность, доходность.

Рентабельность – это относительный показатель экономической эффективности. Рентабельность предприятия отражает степень эффективности использования материальных, денежных, трудовых и других ресурсов. В общем смысле рентабельность продукции подразумевает, что производство и реализация данного продукта приносит

предприятию прибыль. Нерентабельное производство – производство, не приносящее прибыли. Отрицательная рентабельность показывает убыточную деятельность. Уровень рентабельности рассчитывается с помощью относительных показателей – коэффициентов.

Исходя из анализа уровней рентабельности, можно определить, какие виды продукции и хозяйственные подразделения обеспечивают значительную долю доходности. Это становится особенно важным в современных рыночных условиях, где финансовая устойчивость зависит от концентрации и специализации производства.

Также с помощью показателей рентабельности можно оценить эффективность управления производством, так как получение высокой прибыли и достаточного уровня доходности во многом зависит от правильности и рациональности принимаемых управленческих решений. Поэтому рентабельность можно рассматривать как один из критериев качества управления.

Показатели рентабельности характеризуют эффективность деятельности предприятия и его финансовые результаты. Они измеряют прибыльность предприятия с различных позиций и группируются в соответствии с интересами участников рыночного обмена.

Основные показатели рентабельности можно объединить в три группы:

1 – показатели, характеризующие рентабельность капитала (активов). Они рассчитываются как отношение прибыли к различным показателям авансированных средств;

2 – показатели, рассчитанные на основе потоков наличных денежных средств. В расчет принимается не прибыль, а чистый денежный приток денежных средств;

3 – показатели рентабельности продукции. Эта показатели формируются на основе расчета уровней рентабельности по показателям прибыли, отражаемым в отчетности.

Эти показатели характеризуют возможности предприятия расплатиться с кредиторами, заемщиками и акционерами денежными средствами с использованием имеющегося денежного притока.

Все показатели рентабельности могут быть рассчитаны на основе балансовой прибыли, чистой прибыли и прибыли от реализации продукции.

Для определения путей повышения рентабельности было выбрано общество с ограниченной ответственностью «Оконная компания «ФЭНСТЕР»». Основным направлением деятельности компании является продажа и установка пластиковых окон в г. Пензе и области. Также в каталоге компании представлена такая продукция, как двери, жидкие обои, профили и пакеты, перегородки, жалюзи.

Показатели рентабельности рассчитываются по форме №2 «Отчет о прибыли и убытках». Для этого был проведен анализ данной формы и рассчитаны коэффициенты рентабельности.

Показатели рентабельности характеризуют эффективность работы предприятия ООО ОК «Фэнстер» в целом, доходность производственной, предпринимательской, инвестиционной деятельности, окупаемость затрат. Они более полно, чем прибыль, характеризуют окончательные результаты хозяйствования, потому что их величина показывает соотношение эффекта с наличными или использованными ресурсами.

Рассмотрим динамику показателей рентабельности за три анализируемых года (табл. 1).

Из таблицы можно сделать вывод, что в 2015 году все показатели предприятия значительно увеличивались в сравнении с 2014 годом. Чистая прибыль и прибыль до налогообложения перешагнули порог отрицательного значения и перестали быть убытками. Наибольшие изменения произошли по:

- валовой прибыли (она увеличилась в 25,375 раза);
- прибыли от продаж (она выросла в 80 раз);
- собственному капиталу (увеличился в 99 раз).

Меньше всего увеличились себестоимость и выручка – всего в 3 раза.

Показатели рентабельности в ООО ОК «Фэнстер» за 3 года

Показатели	2014	2015	2016	Отклонение	
				2014 к 2015	2015 к 2016
Валовая прибыль	64	1624	53	1560	-1571
Выручка	3507	11045	8385	7538	-2660
Прибыль от продаж	5	403	53	398	-350
Чистая прибыль	-13	302	24	315	-278
Прибыль до налогообложения	-13	377	30	390	-347
Себестоимость	3443	9421	8332	5978	-1089
Собственный капитал	-3	299	306	302	7

Однако в 2016 году наблюдается ухудшение показателей по сравнению с 2015 годом.

Значительно сократились:

- валовая прибыль (в 30 раз);
- прибыль от продаж (в 7 раз);
- прибыль до налогообложения (в 12,5 раза).

Себестоимость, выручка снизились незначительно. Собственный капитал вырос в 1,25 раз.

На рис. 1 представлены изменения показателей рентабельности.

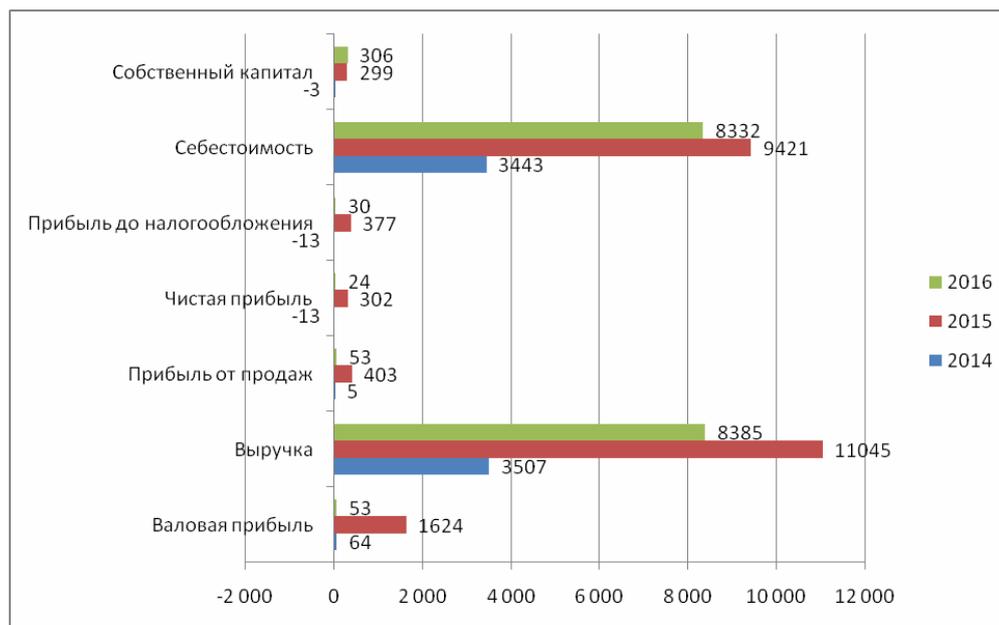


Рис. 1. Изменение показателей рентабельности

Т а б л и ц а 2

Оценка показателей рентабельности ООО ОК «Фэнстер»

Показатель	2014 г.	2015 г.	2016 г.
1	2	3	4
Рентабельность продаж по валовой прибыли	1,82	14,7	0,63
Рентабельность продаж по прибыли от продаж	0,14	3,65	0,63
Рентабельность продаж по чистой прибыли	-0,37	2,73	0,29
Рентабельность продаж по прибыли до налогообложения	-0,37	3,41	0,36
Рентабельность реализованной продукции	0,16	4,28	0,63
Рентабельность собственного капитала	4,3	1,01	0,784

Представим наглядно динамику показателей рентабельности за 3 года (рис. 2).

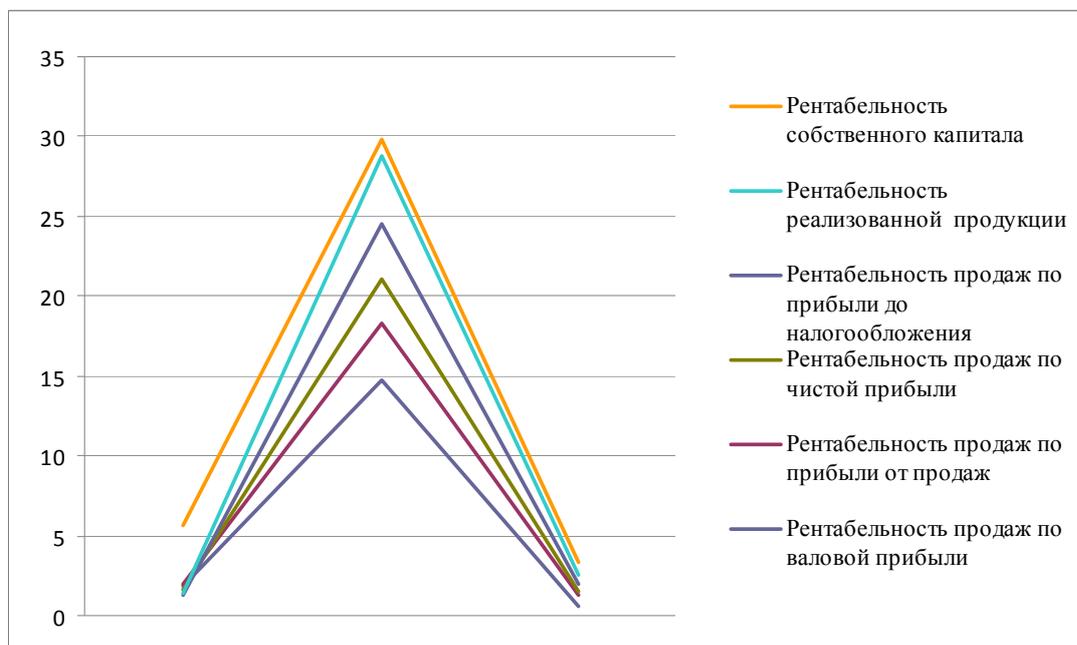


Рис. 2. Динамика показателей рентабельности

Рентабельность продаж по валовой прибыли и по прибыли от продаж в 2015 году выше, чем в 2014. Это отражает рост цен на продукцию при постоянных затратах или увеличение спроса и снижение затрат на единицу продукции. В 2016 году показатель ухудшился в 20 раз и составил всего 0,63 %.

Рентабельность продаж по прибыли от продаж в 2015 году также увеличилась и составила 3,65 % по сравнению с 0,14 % в 2014 году. Рентабельность продукции является отражением отношения прибыли на единицу реализованной продукции. Этот показатель увеличивается при росте цен на продукцию при неизменных затратах на производство либо снижении затрат на производство при сохранении постоянных цен на реализуемую продукцию. Однако в 2016 году рентабельность снизилась и составила 0,63 %.

Рентабельность продаж по чистой прибыли от продаж имеет отрицательное значение. В таком случае говорить о рентабельности (эффективности) некорректно, так как положительного финансового результата не было. В 2015 году этот показатель имеет положительное значение и равняется 2,73 %. В 2016 году показатель уменьшается и становится равен 0,29 %. Это говорит о том, что выручка уменьшается, а затраты увеличиваются.

Рентабельность продаж по прибыли до налогообложения в 2014 году имеет отрицательное значение и говорить о рентабельности некорректно. В 2015 году показатель увеличился в 9 раз и составил 3,1 %. Это говорит о том, что прибыль предприятия значительно увеличилась. В 2016 году показатель сократился в 8 раз и составил 0,36 %. В этом году наблюдается резкое сокращение прибыли предприятия.

Рентабельность реализованной продукции в 2014 году имеет низкое значение – всего 0,16 %. В 2015 году показатель возрастает и становится равен 4,28 %. Наблюдается увеличение прибыли от продаж и себестоимости. В 2016 году показатель уменьшается и составляет 0,63 %.

Рентабельность собственного капитала в 2014 году равна 4,3 %. При таком коэффициенте собственникам невыгодно вкладывать средства в компанию. В 2015 году коэффициент повысился и составил 1,01 %. В 2016 году этот показатель ухудшается и составляет всего 0,784 %. Это значение не является минимальным и можно сделать вывод, что предприятие работает с высоким вкладом на покрытие и низким спросом.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

– при низкой рентабельности продаж необходимо стремиться к ускорению оборота оборотных средств. Ускорить оборачиваемость оборотных средств – это значит, сократить время их пребывания в каждой стадии оборота, что позволяет с теми же их суммами выполнить больший объем работ или выполнить тот же объем работ с меньшей суммой оборотных средств.

Ускорение оборачиваемости оборотных средств достигается путем проведения следующих мероприятий:

- снижения производственных запасов;
- уменьшения объема незавершенного производства;
- ускорения сроков реализации готовой продукции (выполненных и сданных заказчику объемов строительно-монтажных работ);
- сокращения дебиторской задолженности;
- увеличения доли заемных средств в составе совокупного капитала.

Каждое из этих мероприятий вполне самостоятельно и автономно, но наибольший эффект будет достигнут тогда, когда они проводятся комплексно, в рамках единого плана.

Для улучшения финансового состояния предприятия, его развития и повышения уровня рентабельности следует воспользоваться заемным капиталом, т.к. отдача собственного капитала повышается при увеличении доли заемных средств в составе совокупного капитала.

Рассчитаем эффективность данного мероприятия для ООО ОК «Фэнстер».

Наиболее выгодный кредит предоставляет Сбербанк России на 1500000 рублей. Размер переплаты за год составит всего 177000 рублей. Также банк ВТБ предоставляет кредит на выгодных условиях. Размер годовой ставки – 12,1 % и переплата составит 102850 рублей.

Рассчитаем изменения рентабельности собственных средств благодаря использованию заемных средств. Для расчета возьмем наиболее выгодные кредитные предложения – «бизнес-оборот» Сбербанка России и кредит банка ВТБ.

Для того чтобы спрогнозировать рентабельность в 2017 году, следует спрогнозировать увеличение основных показателей прибыли. Для этого проследим тенденцию увеличения и уменьшения показателей за предыдущие годы и в 2017 году (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Прогнозирование показателей отчета о прибылях и убытках

	2015	2016	прогноз
Выручка	11045	8385	15245
Себестоимость продаж	9421	8332	12196
Валовая прибыль (убыток)	1624	53	3049
Коммерческие расходы	1221	0	2134
Прибыль (убыток) от продаж	403	53	915
Прочие расходы	26	23	54
Прибыль (убыток) до налогообложения	377	30	861
Текущий налог на прибыль	75	6	129
Чистая прибыль (убыток)	302	24	732
Итого	24497	17864	35315

Отразим изменения на графике (рис. 3).

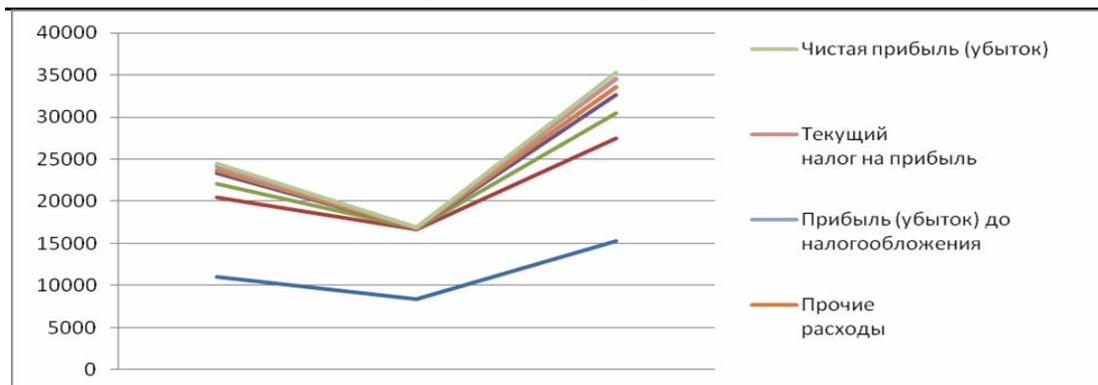


Рис. 3. Изменение показателей отчета о прибылях и убытках

Т.к. в 2016 году выручка снизилась на 25 %, то предположим, что в 2017 году, чтобы предприятие повысило свои показатели, ему нужно увеличить выручку на 45 % – 25 %, чтобы достичь уровня 2015 года, и еще 20 %, чтобы получать большую прибыль. Исходя из этого рассчитаем другие показатели предприятия, необходимые для дальнейшего прогнозирования и расчета эффективности предложенных мероприятий.

Рассчитаем показатели рентабельности в прогнозном году (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Сравнение рентабельности с прогнозными показателями

Показатель	2015 г	2016	2017
Рентабельность продаж по валовой прибыли	14,7	0,63	20
Рентабельность продаж по прибыли от продаж	3,65	0,63	6
Рентабельность продаж по чистой прибыли	2,73	0,29	4,8
Рентабельность продаж по прибыли до налогообложения	3,41	0,36	5,6
Рентабельность реализованной продукции	0,16	4,28	7,5

Представим изменения показателей рентабельности на диаграмме (рис. 4).

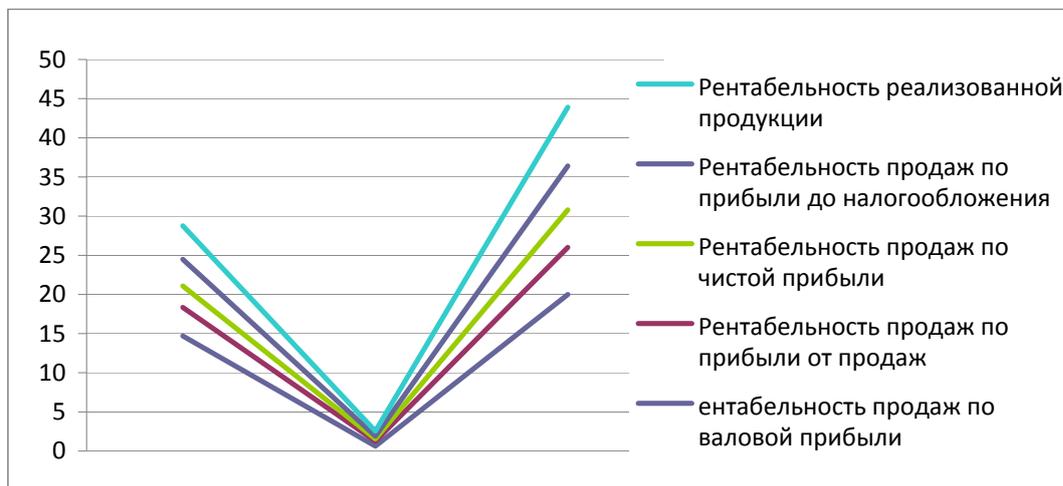


Рис. 4. Изменение показателей рентабельности с учетом рекомендаций

Из таблицы и диаграммы можно сделать вывод, что с применением рекомендаций все показатели рентабельности в расчетном году увеличатся. Это говорит о том, что рекомендованные мероприятия повысят эффективность деятельности предприятия.

Для отражения изменений рентабельности собственных средств, полученных благодаря использованию заемных средств, используется расчет эффекта финансового рычага.

Эффект финансового рычага (ЭФР) – это приращение рентабельности собственных средств, получаемое при использовании заемных средств, при условии, что экономическая рентабельность активов фирмы больше ставки процента по кредиту (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Показатели эффективности финансового рычага

Показатель	2016		2017		
	1	2	3	4	5
		Сбербанк	Втб	Сбербанк	Втб
РСС		5,978	14,014	46,4	49,3
ЭФР		18,43	11,072	36,77	21,22
ПЛЕЧО		178,89	101,37	99,7	55,7
Дифференциал		9,54	9,84	34,6	34,3
ЭР		2,26		46,4	

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что ЭФР увеличился на 3,18 %, следовательно, увеличилась рентабельность собственных средств, получаемая благодаря использованию кредита.

Таким образом, из представленных данных видно, что показатели рентабельности ООО «ОК «Фэнстер» за счет предложенных мероприятий значительно повысятся и позволят предприятию развиваться и приносить доход.

Список литературы

1. Учаева, Т.В. Повышение качества производства пластиковых конструкций / Т.В. Учаева // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 3. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/51075> (дата обращения: 02.04.2015).
2. Учаева, Т.В. Повышение финансовых результатов строительного предприятия / Т.В. Учаева, А.Н. Усатенко // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – №5. – С.138–143.
3. Усатенко, А.Н. Резервы повышения прибыли и рентабельности деятельности строительного предприятия / А.Н. Усатенко, Т.В. Учаева // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №3 (28). – С.182–186.
4. Учаева, Т.В. Возможность повышения прибыли предприятия по производству пластиковых оконных конструкций / Т.В. Учаева, Е.А. Кислова // Современные научные исследования и инновации. – 2017. – № 4. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/04/81095> (дата обращения: 24.04.2017).

References

1. Uchaeva, T.V. Improving the quality of the production of plastic structures / T.V. Uchaeva // Modern scientific researches and innovations. – 2015. – No. 3. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/51075> (reference date: 02.04.2015).
2. Uchaeva, T.V. Improving the financial results of construction enterprises / T.V. Uchaeva, A.N. Usatenko // Education and science in the modern world. Innovations. – 2016. – №5. – P. 138–143.
3. Usatenko, A.N. Reserves of increase of profit and profitability of a construction enterprise / A.N. Usatenko, T.V. Uchaeva // Regional architecture and engineering. – 2016. – No. 3 (28). – P. 182–186.
4. Uchaeva, T.V. The possibility of increasing the profits of the enterprise of the production of plastic window designs / T.V. Uchaeva, E.A. Kislov // Modern scientific researches and innovations. – 2017. – № 4. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/04/81095> (date accessed: 24.04.2017).