

**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 27.05.2016.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 22.25. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 312.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

РЕГИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО 2(27)/2016

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ 4

**Максимова И.Н., Ерофеев В.Т.,
Макридин Н.И., Полубарова Ю.В.**
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ
СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА НА ПРОЦЕСС И
ПАРАМЕТРЫ РАЗРУШЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО
КАМНЯ ПО МЕТОДУ АКУСТИЧЕСКОЙ
ЭМИССИИ 4

**Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Авдонин В.В.,
Пугачев А.А., Мокейкина Е.В.**
ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА
ДИССИПАТИВНЫЕ СВОЙСТВА
ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО
МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ
СМОЛЫ 10

Селяев В.П., Колотушкин А.В.
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОЙ АКТИВАЦИИ
НА УПРУГОПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ 17

Pavel Kudryavtsev, Oleg Figovsky
APPLICATION OF ULTRACENTRIFUGATION
METHOD FOR DETERMINING PARTICLE SIZES
IN THE COLLOIDAL SOLUTIONS OF METAL
OXIDES 21

**Гаврилов М.А., Губанов Д.А., Худяков В.А.,
Ерофеев В.Т.**
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА НАПОЛНИТЕЛЕЙ
НА ОСНОВЕ АСБЕСТОСодержащих
ОТХОДОВ И ИХ СОДЕРЖАНИЯ НА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ... 33

Рахимова Н.Р., Рахимов Р.З.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ
ДОБАВОК ИЗВЕСТНЯКА НА СВОЙСТВА
КОМПОЗИЦИОННОГО ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО
ВЯЖУЩЕГО 43

Данилов А.М., Гарькина И.А.
РАЗРАБОТКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
КАК СЛОЖНЫХ СИСТЕМ 50

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

Береговой В.А., Снадин Е.В. ФОРМИРОВАНИЕ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ КРЕМНИСТОЙ КЕРАМИКИ	55	Гришин Б.М., Кошев А.Н., Бикунова М.В., Сафронов М.А. РЕАГЕНТНОЕ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА.....	118
Горбунова В.С., Гринцова О.В. СПОСОБЫ НАИМЕНОВАНИЯ БЕТОНОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ	60	Гришин Б.М., Камбург В.Г., Бикунова М.В., Сафронов М.А. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВИХРЕВЫХ КОАЛЕСЦИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРИ ОЧИСТКЕ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД.....	125
Логанина В.И., Пышкина И.С., Васин Л.А. МОДИФИКАЦИЯ ИЗВЕСТКОВЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ	65	Прошутинский А.О. ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА НА ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ.....	133
Данилов А.М., Гарькина И.А. ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АППРОКСИМАЦИИ КИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ	70	АРХИТЕКТУРА.....	137
Логанина В.И., Фролов М.В. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ИЗВЕСТКОВЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ОТДЕЛКИ СТЕН ИЗ ГАЗОБЕТОНА.....	75	Маяцкая И.А., Демченко Б.М., Швецов П.А. О ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СЕТЧАТЫХ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ БИОНИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ	137
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	81	Кутай Е.П. СИСТЕМА ВЫСОТНЫХ ДОМИНАНТ ЦЕНТРА ИСТОРИЧЕСКОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ Г. ПЕНЗЫ)	146
Нежданов К.К., Гарькин И.Н. ИСПЫТАНИЕ НЕРАЗРЕЗНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК НА ВЫНОСЛИВОСТЬ ...	81	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	154
Скачков Ю.П., Мищенко В.Н., Снежкина О.В. СХЕМЫ РАЗРУШЕНИЯ И ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ РОСТВЕРКОВ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПОД КОЛОННЫ	87	Хаметов Т.И. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И УЧЕТА СВЕДЕНИЙ ОБ ОБЪЕКТАХ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	154
Вдовин В.М. КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КРОВЕЛЬНЫХ ЩИТОВ ПОЛНОСБОРНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ.....	93	Учаева Т.В., Иванова Д.С. РОЛЬ ФИНАНСОВОГО АНАЛИЗА В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	161
Кочеткова М.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ СОЗРЕВАНИЯ ПОКРЫТИЯ ИЗ ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ ПО ОТДЕЛКЕ ПАНЕЛЕЙ	99	Мусатова Т.Е. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГРЕССИОННОГО МЕТОДА В ЭКОНОМИЧЕСКОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ СЕЗОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	167
Кочеткова М.В. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОТДЕЛКИ ПАНЕЛЕЙ ИЗ ПЕНОБЕТОНА ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫМ РАСТВОРОМ	104	А.Н. Усатенко ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОМОЩЬЮ SWOT-АНАЛИЗА (НА ПРИМЕРЕ ООО «АРМСТРОЙ», Г.МОСКВА).....	174
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ	108		
Перельгин Ю.П., Покшин В.В. РЕАГЕНТ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ.....	108		
Гришин Б.М., Перельгин Ю.П., Бикунова М.В., Ласьков Н.Н., Вилкова Н.Г. ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕВЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В ТЕХНОЛОГИЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	112		

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	4
Maksimova I.N., Erofeev V.T., Makridin N.I., Polubarova Ju.V. COMPARATIVE ANALYSIS OF SUPERPLASTICIZER INFLUENCE ON THE PROCESS AND PARAMETERS OF CEMENT PASTE FRACTURE ACCORDING TO THE METHOD OF ACOUSTIC EMISSION	4
Cherkasov V.D., Yurkin Y.V., Avdonin V.V., Pugachev A.A., Mokeykina E.V. INFLUENCE OF FILLERS ON DISSIPATIVE PROPER TIES OF POLYMER COMPOSITE MATERIAL ON EPOXY RESIN	10
Selyaev V.P., Kolotushkin A.V. INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL MODES OF MAGNETIC ACTIVATION ON ELASTIC STRENGTH CHARACTERISTICS OF CEMENT COMPOSITES	17
Pavel Kudryavtsev, Oleg Figovsky APPLICATION OF ULTRACENTRIFUGATION METHOD FOR DETERMINING PARTICLE SIZES IN THE COLLOIDAL SOLUTIONS OF METAL OXIDES.....	21
Gavrilov M.A., Gubanov D.A., Hudjakov V.A., Erofeev V.T. EVALUATION OF EFFECTIVE TYPES AND CONSISTENCES OF ASBESTOS-BASED WASTE FILLERS UPON EPOXY COMPOSITES AND THEIR TECHNOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES.....	34
Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. A STUDY OF THE INFLUENCE OF LIMESTONE ADDITIVES DISPERSION ON THE PROPERTIES OF COMPOSITIONAL SLAG-ALKALINE BINDER.....	43
Danilov A.M., Garkina I.A. DEVELOPMENT OF BUILDING MATERIALS AS COMPLEX SYSTEMS	50
Beregovoy V.A., Snadin E.V. FORMATION OF CELLULAR STRUCTURE OF SILICEOUS CERAMICS	55
Gorbunova V.S., Grintsova O.V. WAYS OF DIFFERENT CONCRETE TITLES FORMING.....	60
Loganina V.I., Pyshkina I.S., Vasin L.A. MODIFICATION OF LIME DRY MIXES BY ADDITIVES ON THE BASIS OF CALCIUM SILICATE.....	65
Danilov A.M., Garkina I.A. PRACTICAL METHODS FOR APPROXIMATION KINETIC PROCESSES IN POLYDISPERSE SYSTEMS	70
Loganina V.I., Frolov M.V. HEAT INSULATION LIME COMPOUNDS FOR FINISHING AERATED CONCRETE WALLS	75
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS.....	81
Nezhdanov K.K., Garkin I.N. TEST OF CONTINUOUS CRANE BEAMS ENDURANCE	81
Skachkov Y.P., Mishchenko V.N., Snezhkina O.V. SCHEME OF DESTRUCTION AND CRACKING OF PILE CAPS IN PILE FOUNDATIONS UNDER COLUMNS.....	87
Vdovin V.M. STRENGTH CRITERIA OF GLUE CONNECTIONS OF ROOFING BOARDS ELEMENTS IN PREFABRICATED WOODEN HOUSES.....	93
Kochetkova M.V. DEFINITION OF BEST TIME MATURING OF COATINGS FROM POLYMER CEMENT MORTAR FOR FURTHER SURFACE FINISHING OPERATIONS	99
Kochetkova M.V. TECHNOLOGICAL SEQUENCE OF FOAM CONCRETE FINISHING PANEL BY FOAM POLYMER CEMENT MORTAR.....	104
ENGINEERING SYSTEMS	108
Perelygin Yu. P., Pokshin V.V. REAGENT FOR WATER DISINFECTION	108
Grishin B.M., Perelygin Yu.P., Bikunova M.V., Laskov N.N., Vilkova N.G. USE OF VORTEX MIXING DEVICES IN WASTE WATER MECHANICAL AND PHISICAL-CHEMICAL PURIFICATION TECHNOLOGIES.....	112
Grishin B.M., Koshev A.N., Bikunova M.V., Safronov M.A. IRON REMOVAL FROM UNDERGROUND WATER WITH USE REAGENTS AND ELECTRICAL HYDRODYNAMICS DEVICE.....	118
Grishin B. M., Kamburg V. G., Bikunova M. V., Safronov M. A. RESEARCH OF VORTEX COALESCENCE DEVICES APPLIED UNDER OIL FIELD WASTE WATER PURIFICATION	125
Proshutinsky A.O. INFLUENCE OF GAS PRESSURE ON ENERGY AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF GAS EQUIPMENT OF RESIDENTIAL BUILDINGS	133
ARCHITECTURE.....	137
Mayatskaya I.A., Demchenko B.M., Shvetsov P.A. POSSIBILITY OF IMPROVING MESH PLATES AND SHELLS IN VIEW OF PRINCIPLES OF BIONIC	137
Kutay E.P. THE SYSTEM OF HIGH-RISE LANDMARKS IN THE HISTORICAL CITY CENTER (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF PENZA).....	146
ECONOMICS AND MANAGEMENT	154
Khametov T.I. FEATURES OF FORMATION AND ACCOUNTING OF INFORMATION ABOUT OBJECTS OF CAPITAL CONSTRUCTION	154
Uchaeva T.V., Ivanova D.S. ROLE OF FINANCIAL ANALYSIS IN EFFICIENCY INCREASE OF BUILDING COMPANIES	161
Musatova T. E. REGRESSION METHOD IN ECONOMIC FORECASTING OF SEASONAL ACTIVITIES OF A ROAD CONSTRUCTION COMPANY.....	167
Usatenko A.N. INCREASE IN EFFICIENCY OF ENTERPRISE ACTIVITIES BY SWOT-ANALYSIS (ON THE EXAMPLE OF LTD ARMSTROI, MOSCOW).....	174

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.327:539.4

*Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства*

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

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

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

Полубарова Юлия Владимировна,
аспирант

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

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

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

Polubarova Julija Vladimirovna,
Postgraduate student

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

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

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА НА ПРОЦЕСС И ПАРАМЕТРЫ РАЗРУШЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ПО МЕТОДУ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

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

Приведены экспериментально полученные кинетические зависимости влияния суперпластификатора на процесс разрушения и структурные параметры качества сравниваемых серий образцов цементного камня.

Ключевые слова: цементный камень, прочность, акустическая эмиссия, коэффициент интенсивности напряжений, энергия разрушения материала

COMPARATIVE ANALYSIS OF SUPERPLASTICIZER INFLUENCE ON THE PROCESS AND PARAMETERS OF CEMENT PASTE FRACTURE ACCORDING TO THE METHOD OF ACOUSTIC EMISSION

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

The authors presents experimentally obtained kinetic effect of superplasticizer on the process of destruction and structural quality parameters of compared series of cement stone samples.

Keywords: cement stone, strength, acoustic emission, stress intensity factor, fracture energy of the material

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

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

В данной работе представлены результаты экспериментальной оценки и идентификации процесса разрушения образцов цементного камня типа I по ГОСТ 29167 по энергетическому параметру акустической эмиссии ($\sum \mathcal{E}_{AЭ}$, В²/см²), который регистрировали с помощью акустико-эмиссионного устройства [4, 5] в реальном масштабе времени при неравновесных механических испытаниях опытных образцов.

Для изготовления опытных образцов цементного камня при исследовании влияния добавки суперпластификатора на процесс и параметры его механического разрушения был использован бездобавочный сульфатостойкий портландцемент марки 400 Вольского завода с нормальной густотой 24 %. Было изготовлено две серии образцов типа I размером 4×4×16 см с В/Ц=0,24. При этом контрольная серия образцов № 1 была приготовлена без суперпластификатора (СП) С-3, а серия № 2 – с дозировкой СП в количестве 1 % от массы цемента. Суперпластификатор предварительно растворяли в воде затворения.

Формование образцов осуществляли на лабораторной виброплощадке со стандартными параметрами вибрации в течение 3–5 с. Отформованные образцы размещали над водой в закрытой гидравлической ванне. После выдержки в течение 17 часов образцы подвергали в лаборатории тепловлажностной обработке по режиму: подъем температуры 2 ч, изотермическая выдержка 8 ч при 85–90 °С, естественное остывание образцов в пропарочной камере. Далее образцы находились в естественных лабораторных условиях, где в зависимости от сезона температура и относительная влажность изменялись, соответственно, в диапазоне 8–24 °С и 56–90 %.

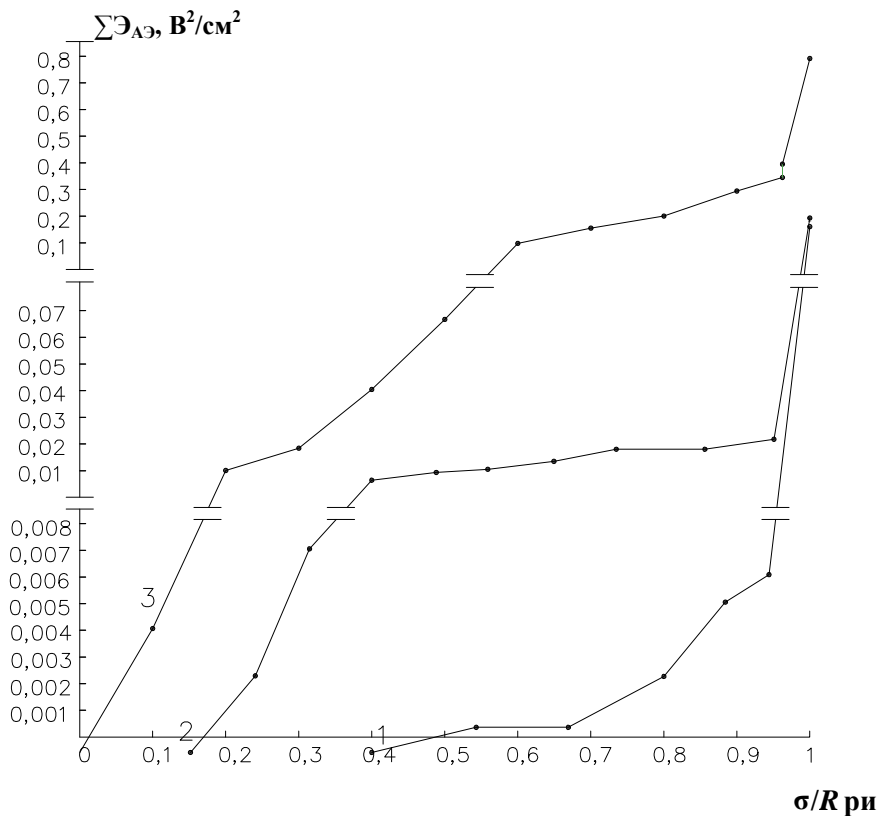


Рис. 1. Зависимости суммарной энергии акустической эмиссии ($\Sigma \mathcal{E}_{\text{АЭ}}$, $\text{В}^2/\text{см}^2$) от относительного напряжения ($\sigma/R_{\text{пр}}$) для образцов цементного камня серии №1: 1 – в возрасте 28 суток; 2 – в возрасте 420 суток; 3 – в возрасте 18 лет

Кинетику изменения физико-механических свойств цементного камня на образцах серий № 1 и № 2 наблюдали в течение 18 лет. Следует отметить, что оценку контролируемых параметров во все сроки испытаний проводили в лаборатории при температуре (20 ± 2) °С и относительной влажности 58–60 %.

На рис. 1 и 2 представлены экспериментальные кинетические зависимости 1–3 суммарной энергии акустической эмиссии (АЭ) на кривой нагружения сравниваемых серий опытных образцов цементного камня типа I при неравновесных механических испытаниях, соответственно, в возрасте 28 и 420 суток и 18 лет.

Из анализа зависимостей 1–3 следует, что при прочих равных условиях регистрации суммарной энергии акустической эмиссии, с одной стороны, интенсивность энергии АЭ в зависимости от уровня нагружения опытных образцов цементного камня сравниваемых серий в возрасте 28 суток значительно ниже, чем интенсивность в возрасте 420 суток и тем более в возрасте 18 лет, что, естественно, обусловлено различной степенью гидратации цемента. С другой стороны – интенсивность суммарной энергии АЭ опытных образцов серии I в возрасте 18 лет оказалась в два раза выше по сравнению с образцами серии № 2 в том же возрасте, что отражает особенности гидратационного твердения цементного вяжущего при изменении условий твердения в присутствии добавки СП.

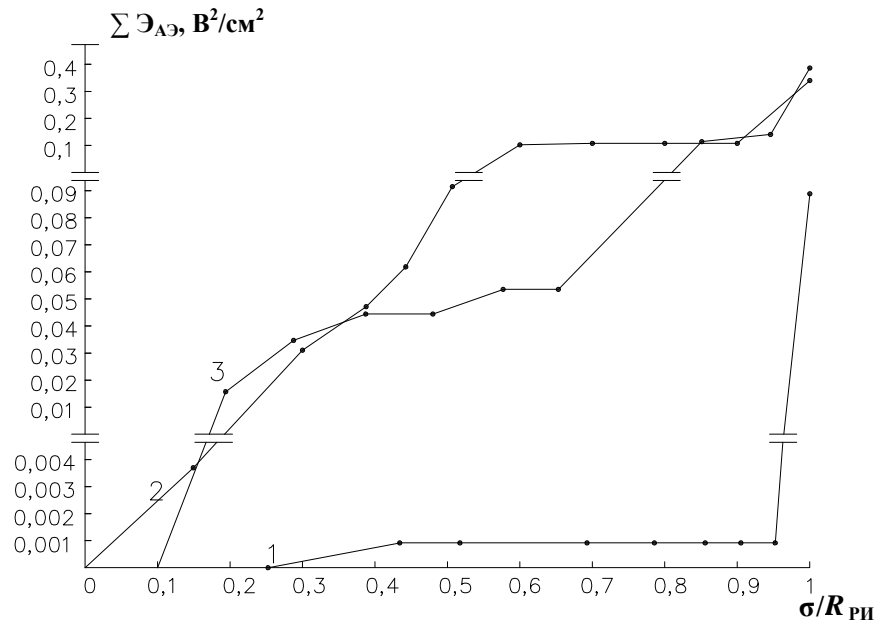


Рис. 2. Зависимости суммарной энергии акустической эмиссии ($\Sigma \mathcal{E}_{\text{АЭ}}$, $\text{В}^2/\text{см}^2$) от относительного напряжения ($\sigma/R_{\text{ПР}}$) для образцов цементного камня серии №2: 1 – в возрасте 28 суток; 2 – в возрасте 420 суток; 3 – в возрасте 18 лет

Ранее [6] рентгенофазовыми исследованиями опытных образцов сравниваемых серий в возрасте цементного камня 18 лет было показано, что в цементной системе в присутствии СП, содержащего активные функциональные группы, параллельно протекают, с одной стороны, процессы активации гидратации вследствие диспергирования частиц вяжущего, а с другой – процессы изменения морфологии гидросиликатов кальция и перекристаллизации гидратов, что приводит к существенному изменению дисперсно-кристаллитной структуры, свойств и параметров механического поведения цементных материалов.

Анализ численных значений показателей механического качества сравниваемых серий образцов в контрольные сроки твердения, приведенных в таблице, позволяет констатировать, что прочность при сжатии ($R_{\text{СЖ}}$) как контрольных, так и модифицированных структур цементного камня имеет тенденцию роста. Образцы первой серии показали рост на 17,3 %, а образцы второй серии – на 19,9 %. При этом образцы с СП во все сроки испытания показали меньшие значения $R_{\text{СЖ}}$ относительно контрольных образцов.

Показатели качества образцов серий 1 и 2

Свойства и параметры качества цементного камня	Показатели качества сравниваемых серий образцов в возрасте		
	28 суток	420 суток	18 лет
1	2	3	4
Серия № 1			
$R_{\text{СЖ}}$, МПа	76,7	87,5	90,0
$R_{\text{ПР}}$, МПа	5,19	6,38	5,35
K_{IC} , МПа·м ^{0,5}	0,51	0,626	0,525
$G_{\text{С}}$, Дж·м ⁻²	–	85,6	115,6
$\Sigma \mathcal{E}_{\text{АЭ}}$, $\text{В}^2 \cdot \text{см}^{-2}$	0,17	0,21	0,79

1	2	3	4
Серия № 2			
$R_{СЖ}$, МПа	68,2	74,5	81,8
$R_{РИ}$, МПа	3,88	6,69	6,53
K_{1C} , МПа·м ^{0,5}	0,381	0,656	0,641
G_C , Дж·м ⁻²	–	75,3	122,7
$\sum \mathcal{E}_{AЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,108	0,27	0,39

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

Численные значения параметров суммарной энергии акустической эмиссии в процессе разрушения опытных образцов коррелируют с параметрами качества цементного камня, приведенными в таблице, а также с акустическими параметрами количества ультразвуковых сигналов N и отношением $N_1(A_1)/N_2(A_2)$, приведенными в работе [7].

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

Вместе с тем на основе комплексной оценки механического поведения дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня сравниваемых составов с позиций структурной механики разрушения материалов во временном интервале от проектного возраста 28 суток до 18 лет можно сформулировать заключение о том, что модификация структуры цементного теста на микро- и наноуровне суперпластификатором С-3 при одинаковом В/Ц-отношении приводит к неоднозначному влиянию на механическое поведение: с одной стороны, к снижению прочности $R_{СЖ}$ во все контрольные сроки испытания, а с другой – это касается прочности $R_{РИ}$ и структурного параметра трещиностойкости K_{1C} – к снижению значений $R_{РИ}$ и K_{1C} лишь в начальном проект-

ном возрасте, а в возрасте 420 суток и 18 лет названные значения у цементного камня модифицированной структуры значительно выше, чем у контрольных образцов без суперпластификатора С-3.

Список литературы

1. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
2. Макридин, Н.И. О структурообразовании цементного камня / Н.И. Макридин, А.П. Прошин, В.Н. Вернигорова, И.Н. Максимова // Современные проблемы строительного материаловедения. Ч. 1: Перспективные направления в теории и практике минеральных вяжущих и материалов на их основе. Академические чтения РААСН: материалы междунар. конф. – Самара, 1995. – С. 7–10.
3. Мchedlov-Petrosyan, O.P. Химия неорганических строительных материалов / О.П. Мchedlov-Petrosyan. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1988. – 304 с.
4. Макридин, Н.И. Метод акустической эмиссии в строительном материаловедении / Н.И. Макридин, Е.В. Королев, И.Н. Максимова // Строительные материалы. – 2007. – № 3. – С. 26–29.
5. Макридин, Н.И. Структурообразование и конструкционная прочность цементных композитов / Н.И. Макридин, Е.В. Королев, И.Н. Максимова. – М.: МГСУ, 2013. – 152 с.
6. Макридин, Н.И. Фактор времени в формировании фазового состава структуры цементного камня / Н.И. Макридин, О.В. Тараканов, И.Н. Максимова, И.А. Суров // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 26–31.
7. Максимова, И.Н. Комплексная оценка механического поведения модифицированной структуры цементного камня разного возраста / И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, Ю.П. Скачков, Е.А. Тамбовцева // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 3. – С. 29–36.

References

1. Batrakov, V.G. Modified concrete. Theory and practice / V.G. Batrakov. – 2nd edition. – M.: Stroyizdat, 1998. – 768 p.
2. Makridin, N.I. About the structure formation of cement stone / N.I. Makridin, V.N. Vernigorova, I.N. Maksimova // Modern problems of building materials. Part 1: Perspective directions in the theory and practice of mineral binders and materials on their basis. Academic readings of RAACS. Proceedings of International Conference. – Samara, 1995. – P. 7–10.
3. Mchedlov-Petrosyan, O.P. Chemistry of inorganic construction materials / O.P. Mchedlov-Petrosyan. – 2nd edition. Revised and enlarged. – M.: Stroyizdat, 1988. – 304 p.
4. Makridin, N. I. Acoustic emission method in construction materials / N.I. Makridin, E.V. Korolev, I.N. Maksimova // Building materials. – 2007. – № 3. – P. 26–29.
5. Makridin, N.I. Pattern formation and the structural strength of cement composites / N.I. Makridin, E.V. Korolev, I.N. Maksimova. – M.: MSUCE, 2013. – 152 p.
6. Makridin, N.I. The time factor in the formation of the phase composition of cement stone structure / N.I. Makridin, O.V. Tarakanov, I.N. Maksimova, I.A. Surov // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 2. – P. 26–31.
7. Maksimova, I.N. Comprehensive assessment of the mechanical behavior of cement paste modified structures of different ages / I.N. Maksimova, N.I. Makridin, Y.P. Skachkov, E.A. Tambovtseva // Regional architecture and engineering. – 2014. – № 3. – P. 29–36.

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**Юркин Юрий Викторович,**
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Прикладная механика»
E-mail: yurkinuv@gmail.com**Авдонин Валерий Викторович,**
преподаватель кафедры «Прикладная
механика»
E-mail: avdoninvalerii@bk.ru**Пугачев Александр Александрович,**
магистрант кафедры «Прикладная
механика»
E-mail: allex_de_f@mail.ru**Мокейкина Екатерина Вениаминовна,**
магистрант кафедры «Прикладная
механика»*Mordovian State University
named after N.P. Ogarev*
Russia, 430000, Saransk, 24,
Soviet St.,
tel.: (8342) 47-71-56**Cherkasov Vasily Dmitrievich,**
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Applied Mechanics»
E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru**Yurkin Yuriy Viktorovich,**
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Applied Mechanics»
E-mail: yurkinuv@gmail.com**Avdonin Valeriy Viktorovich,**
Teacher of the department «Applied
Mechanics»
E-mail: avdoninvalerii@bk.ru**Pugachev Aleksander Aleksandrovich,**
Undergraduate student of the department
«Applied Mechanics»
E-mail: allex_de_f@mail.ru**Mokeykina Ekaterina Veniaminovna,**
Undergraduate student of the department
«Applied Mechanics»

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ДИССИПАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

В.Д. Черкасов, Ю.В. Юркин, В.В. Авдонин, А.А. Пугачев, Е.В. Мокейкина

Представлены результаты исследования полимерных композитов на основе эпоксидной смолы с различными наполнителями. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлены составы композитов, существенно повышающие демпфирующие свойства эпоксидных смол.

Ключевые слова: полимерные композиты на основе эпоксидной смолы, наполнитель, демпфирование

INFLUENCE OF FILLERS ON DISSIPATIVE PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITE MATERIAL ON EPOXY RESIN

V.D. Cherkasov, Y.V. Yurkin, V.V. Avdonin, A.A. Pugachev, E.V. Mokeykina

This article presents a study of polymer composites based on epoxy resin with various fillers. In the result of theoretical and experimental studies composites formulations significantly increasing damping properties of epoxy resins are defined.

Keywords: polymer composites on epoxy resin, a filler, damping

Значительное влияние на диссипативные свойства композитов на основе эпоксидных смол оказывают полимерная матрица, количество и вид наполнителя, пластификаторы и добавки [1]. Цель работы – с учетом полученных ранее данных [2] разработать состав композита на основе эпоксидной смолы с высокими диссипативными свойствами. Установлено [2], что применение только мела или слюды в качестве наполнителя эпоксидного композита малоэффективно.

Экспериментальная часть

Материалы

В качестве полимерного вяжущего применялась эпоксидная смола ЭД-20 (ГОСТ 10587–84 с изм. № 1) производства ЗАО «ХИМЭКС Лимитед» (г. Санкт-Петербург, Россия); отвердитель – ПЭПА (ТУ 2413-646-1 1 131395-2007) производства ЗАО «ХИМЭКС Лимитед» (г. Санкт-Петербург, Россия); наполнители представлены в таблице.

Наполнители

Наименование материала	Показатели	Производитель	ГОСТ (ТУ)
Слюда молотая мусковит СММ-125	Массовая доля остатка, %, не более на сетке № 0160 – 0,2 № 0125 – 0,2	ОАО «Слюда»	ГОСТ 855–74 с изм. № 3
Слюда молотая мусковит СММ 160	Массовая доля остатка, %, не более на сетке № 0160 – 0,2 № 0125 – отсутств.	- // -	ГОСТ 855–74 с изм. № 3
Слюда молотая флогопит СМФ 125	Массовая доля остатка, %, не более на сетке № 0160 – 0,2 № 0125 – 0,2	- // -	ГОСТ 855–74 с изм. № 3
Слюда молотая флогопит СМФ 160	Массовая доля остатка, %, не более на сетке № 0160 – 0,2 № 0125 – отсутств.	- // -	ГОСТ 855–74 с изм. № 3
Слюда молотая СФЭ 315	Массовая доля остатка, %, не более на сетке № 2 – отсутств. № 0315 – 6 № 0125 – 50	- // -	ТУ–2512–01–01055859–96
Слюда молотая флогопит СФММ 063	Массовая доля остатка, %, не более на сетке № 063 – 6	- // -	ТУ 21–25–241–80 с изм. № 3
Слюда молотая СМЭ 315	Массовая доля остатка, %, не более на сетке № 2 – отсутств. № 0315 – 3 № 0125 – 55	- // -	ГОСТ 14327-82 с изм. № 1
Мел природный технический дисперсный МТД-2	Массовая доля остатка, % не более на сетке № 014 – 0,8	ОАО «Мелстром»	ТУ 5743-008-05120542-96
Опилки древесные	Массовая доля остатка, %, не более на сетке № 2 – отсутств. № 0125 – 10	Отходы местного производства	-

Композиционный материал изготавливался в лабораторной мешалке с Z-образными лопастями путем механического перемешивания смеси компонентов. После чего смесь заливалась в формы (балочки 320×10×5 мм), время полного отверждения эпоксидной смолы при комнатной температуре (плюс 20÷25 °С) – 24 часа. Степень наполнения составляла 50 % (по объему). Получение композитов на основе эпоксидной смолы с большим содержанием наполнителя энергозатратно, а полученный материал не технологичен.

Методы исследования

В проведенных исследованиях применяли резонансный метод определения коэффициента потерь – показателя рассеяния энергии. Сущность метода заключается в возбуждении у образца поперечных (изгибных) колебаний основной гармоники. Для проведения испытаний использовали резонансную установку с погрешностью измерений частоты колебаний не более 0,1 Гц, обеспечивающую закрепление образца, возбуждение и измерение колебаний с использованием электромагнитных преобразователей.

Результаты и их обсуждение

В результате экспериментальных исследований установлены зависимости диссипативных свойств эпоксидного композита от смеси применяемых наполнителей (соотношение 1 : 1 по массе):

- опилки древесные с СМЭ-315, СММ-125 и СМФ-125 соответственно (рис. 1, а, б, в);
- смесь различных марок слюды: смесь СФММ-063 с СМЭ-315, СММ-125 и СМФ-125 (рис. 2, а, б, в).

Отмечено, что применение смесей наполнителей приводит к расширению частотных диапазонов эффективного вибропоглощения, однако пиковые значения вибропоглощения усредняются.

Наиболее эффективными оказались: смесь опилок древесных и СМФ-125 – диапазон эффективного вибропоглощения от 300 до 1500 Гц, пиковое значение $\eta = 0,157$ на частоте 800 Гц; смесь слюды марок СФММ-063 и СМЭ-315 – диапазон эффективного вибропоглощения от 350 до 1500 Гц, пиковое значение $\eta = 0,152$ на частоте 500 Гц.

В дальнейшем изучалось влияние волокнистых наполнителей на диссипативные свойства эпоксидных смол (рис. 3, 4). Даже в небольшом количестве волокнистые наполнители значительно увеличивают прочностные свойства композита, неотвержденная смесь становится более жесткой и нетехнологичной при изготовлении. Для чистоты эксперимента волокнистые наполнители добавляли вместе с мелом, показавшим себя менее эффективным.

Результаты исследования влияния количества волокнистого наполнителя на диссипативные свойства композита представлены на рис. 3, влияния марки волокнистого наполнителя – на рис. 4.

Введение волокнистого наполнителя в количестве 3 % значительно (на 30 %) увеличивает диссипативные свойства материала (см. рис. 3), диапазон эффективного вибропоглощения расширяется с 200 (от 300 до 500 Гц) до 1000 Гц (от 200 до 1200 Гц). Увеличение содержания волокон до 5 % приводит к увеличению диссипативных свойств более чем в 1,5 раза, диапазон эффективного вибропоглощения возрастает от 210 до 1500 Гц. При дальнейшем увеличении содержания волокон (до 7 %) демпфирующие свойства снижаются.

Результат совместного применения пластинчатого (слюда СМФ-125 в сочетании с древесными опилками) и волокнистого наполнителей различных марок (см. рис. 4) показывает, что:

- применение волокнистого наполнителя Panasea 3,25 снижает диссипативные свойства эпоксидных смол, но сохраняет практически неизменным частотный диапазон эффективной работы;
- волокно ФРАС увеличивает диссипативные свойства на 10 %, но сужает диапазон эффективного вибропоглощения на 300 Гц.

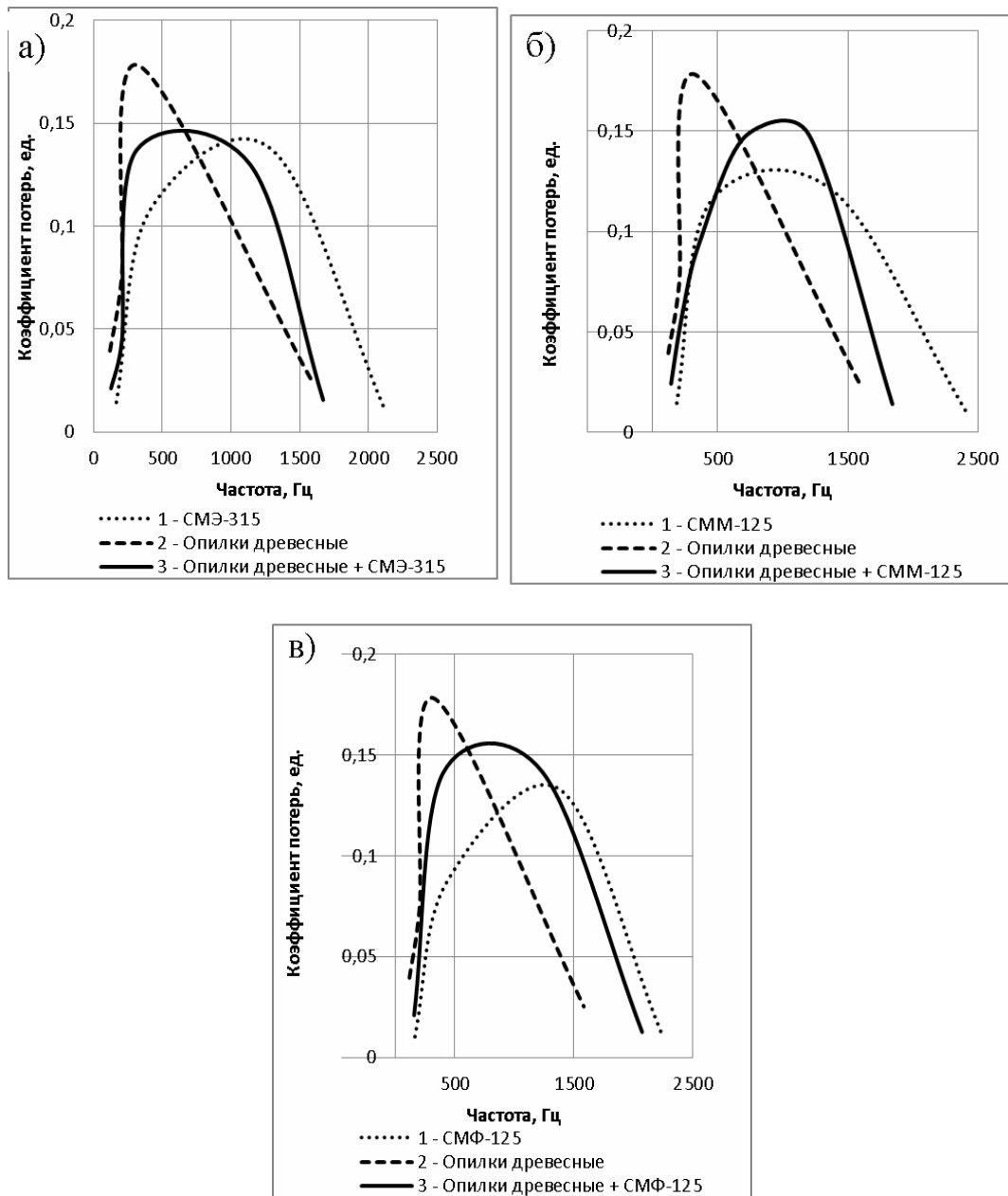


Рис. 1. Влияние смеси наполнителя на вибродемпфирующие свойства ПКМ:
 а – смесь опилок древесных и СМЭ-315; б – смесь опилок древесных и СММ-125;
 в – смесь опилок древесных и СМФ-125

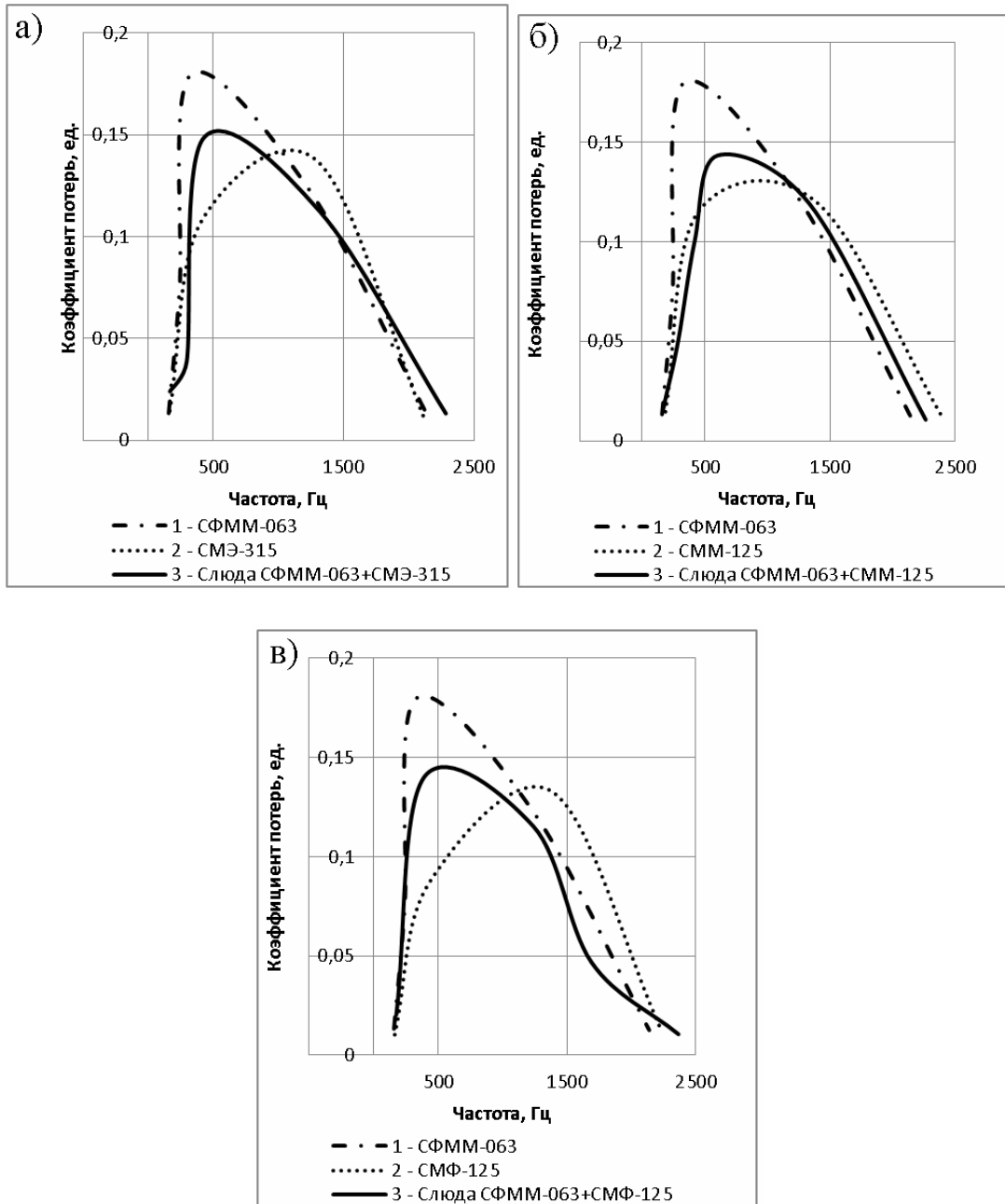


Рис. 2. Влияние смеси наполнителя на вибродемпфирующие свойства ПКМ:
 а – смесь СФММ-063 и СМЭ-315; б – смесь СФММ-063 и СММ-125;
 в – смесь СФММ-063 и СМФ-125

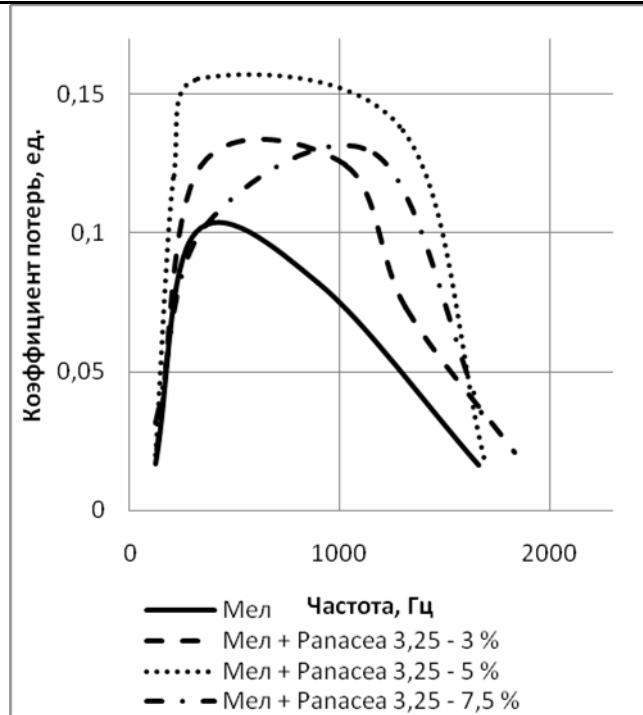


Рис. 3. Влияние количества волокнистого наполнителя (по массе) на вибродемпфирующие свойства ПКМ

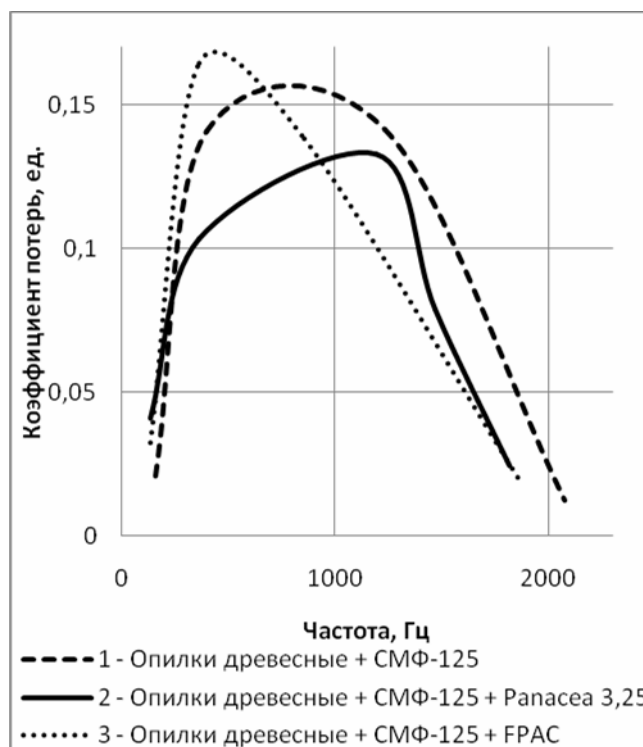


Рис. 4. Влияние марки волокнистого наполнителя на диссипативные свойства ПКМ (содержание волокнистого наполнителя 5 % по массе)

При проектировании и подборе состава вибропоглощающего ПКМ применять волокнистый наполнитель необходимо с учетом поставленной задачи: увеличение диссипативных свойств или расширение (смещение) частотного диапазона эффективного вибропоглощения.

Выводы

1. Выявлено, что смесь наполнителей существенно повышает демпфирующие свойства эпоксидных смол. Установлено, что при введении опилок древесных в количестве 25 масс. % и слюды марки СМФ-125 в количестве 25 масс. % композиции обладают эффективным вибропоглощением в диапазоне частот от 300 до 1550 Гц. При этом коэффициент потерь составляет $\eta = 0,157$ на частоте 800 Гц. Показано, что введение в состав слюды марки СФММ-063 в количестве 25 масс. % и слюды марки СМЭ-315 в количестве 25 масс. % приводит к эффективному вибропоглощению в диапазоне частот от 350 до 1500 Гц, при этом коэффициент потерь составляет $\eta = 0,152$ на частоте 500 Гц. Композиция только на опилках древесных обладает эффективным вибропоглощением в узком диапазоне от 300 до 1000 Гц.

2. Добавление в состав композита на основе эпоксидной смолы волокнистых наполнителей в количестве 5 % увеличивает демпфирующие свойства в 1,45 раза.

3. Показано, что эффективность совместного применения волокнистого наполнителя с чешуйчатым зависит от марки волокнистого наполнителя. Выявлено, что волокно ФРАС при введении его в количестве 5 % увеличивает диссипативные свойства на 10 %.

Список литературы

1. Нильсен, Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций / Л. Нильсен. – М.: Химия, 1978. – 301 с.
2. Черкасов, В.Д. Проектирование состава наполненного вибропоглощающего материала / В.Д. Черкасов, Ю.В. Юркин, В.В. Авдонин // Перспективные материалы. – 2015. – № 1. – С. 49–57.

References

1. Lawrence E. Nielsen. Mechanical Properties of Polymers and Composites / Lawrence E. Nielsen. – M.: Chemistry, 1978. – 301 p.
2. Cherkasov, V.D. Design of structure of the filled damping material / V.D. Cherkasov, Yu.V. Yurkin, V.V. Avdonin // Advanced materials. – 2015. – № 1. – P. 49–57.

УДК 537.8:666.9

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

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

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

Колотушкин Алексей Владимирович,
лаборант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: karlson1520@yandex.ru

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

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

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

Kolotushkin Aleksey Vladimirovich,
Assistant of the department «Building designs»
E-mail: karlson1520@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОЙ АКТИВАЦИИ НА УПРУГОПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

В.П. Селяев, А.В. Колотушкин

Приведены результаты исследования влияния магнитного поля на прочностные характеристики и динамический модуль упругости цементных композитов.

Ключевые слова: электромагнитная активация, напряжённость магнитного поля, прочность, динамический модуль упругости, цементный композит

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL MODES OF MAGNETIC ACTIVATION ON ELASTIC STRENGTH CHARACTERISTICS OF CEMENT COMPOSITES

V.P. Selyaev, A.V. Kolotushkin

The results of research of the effect of magnetic field on the strength characteristics and dynamic modulus of elasticity of cement composites are given.

Keywords: electromagnetic activation, magnetic field strength, strength, dynamic modulus of elasticity, cement composite

Формирование структуры композиционных материалов – это сложный процесс, зависящий от многих факторов. В последнее время большое внимание уделяется влиянию электромагнитных полей на процессы структурообразования и свойства композитных материалов. В ряде работ показано, что воздействие магнитного поля приводит к изменению структуры композитов, созданию ориентированного состояния, возрастанию структурной однородности [1, 2, 3, 4].

Однако для широкого внедрения магнитной активации в технологическую цепочку производства изделий и конструкций из бетона и железобетона требуется: выявить оптимальные режимы активации для вяжущего с учётом типа наполнителей, объема и формы изделия; установить технические характеристики магнитоотрицательных преобразователей; детерминировать магниточувствительность наполнителей бетона.

Изучение влияния электромагнитной активации на прочность цементных композитов проводилось на образцах-балочках размером 20×20×70 мм с различной степенью наполнения пиритными огарками (0, 5, 10 и 20 %). После изготовления образцы твердели в: магнитной камере с различной напряжённостью (100 Э и 200 Э); пропарочной камере; магнитной и пропарочной камерах.

Испытания образцов на сжатие и на растяжение при изгибе проводились после 28 суток дополнительной выдержки на воздухе. Результаты испытаний приведены в табл. 1, 2.

Зависимость пределов прочности на сжатие и на растяжение при изгибе цементных композитов (цемент+вода+пиритные огарки) от режима твердения при напряжённости магнитного поля 100 Э

№ п/п	Режим твердения	Предел прочности на сжатие/растяжение при изгибе, МПа			
		Количество наполнителя (пиритные огарки), % от массы цемента			
		0	5	10	20
1	Обработка в магнитной камере (напряжённость 100 Э, 8 часов)	52,5/6,9	54,2/6,5	44,5/5,7	62,5/7,3
2	Обработка в магнитной и пропарочной камерах (напряжённость 100 Э, 8 часов)	37,1/14,0	45,1/10,1	47,4/9,9	48,1/13,8
3	Обработка в пропарочной камере (8 часов)	61,7/12,8	53,5/13,9	48,1/12,7	44,3/13,9

Т а б л и ц а 2

Зависимость предела прочности на сжатие и на растяжение при изгибе цементных композитов (цемент+вода+пиритные огарки) от режима твердения при напряжённости магнитного поля 200 Э

№ п/п	Режим твердения	Предел прочности на сжатие/растяжение при изгибе, МПа			
		Количество наполнителя (пиритные огарки), % от массы цемента			
		0	5	10	20
1	Обработка в магнитной камере (напряжённость 200 Э, 8 часов)	54,0/7,1	67,0/5,5	61,6/11,1	48,4/5,6
2	Обработка в магнитной и пропарочной камерах (напряжённость 200 Э, 8 часов)	38,2/13,8	53,9/12,5	57,5/13,7	51,1/16,4
3	Обработка в пропарочной камере (8 часов)	61,7/12,8	53,5/13,9	48,1/12,7	44,3/13,9

Анализ результатов испытаний показывает, что при обработке составов с максимальным наполнением (20 %) в магнитной камере с напряжённостью 100 Э в течение 8 часов происходит увеличение прочности на сжатие на 19 %. Обработка этого же состава по режиму 2 позволила добиться увеличения прочности на сжатие на 29,6 %. Пропаривание образцов, содержащих 20 % наполнителя (режим 3), в течение 8 часов вызвало снижение прочности на сжатие на 28,2 %, но при этом прочность на растяжение при изгибе возросла на 8,6 %. Предел прочности на растяжение при изгибе составов цементных композитов, выдержанных в магнитной камере с напряжённостью 100 Э, с увеличением наполнения пиритными огарками изменялся не столь значительно.

Применение магнитной активации позволило: получить наполненные цементные композиты с прочностью на сжатие 62,5 МПа; добиться 20 %-й экономии цемента.

При обработке в магнитном поле напряжённостью 200 Э прочность на сжатие цементных композиций повышается на 24,1 % при добавлении 5 % пиритных огарков. Дальнейшее увеличение содержания наполнителя сопровождается снижением прочности на сжатие. Прочность на растяжение при изгибе при первом режиме обработки повышается на 56,3 % при добавлении пиритных огарков в количестве 10 % от массы цемента.

При напряжённости магнитного поля 200 Э наибольшее значение прочности на сжатие (67,0 МПа) получено для составов с 5 %-м содержанием наполнителя, а наи-

большее значение прочности на растяжение при изгибе (16,4 МПа) – для составов, твердевших в магнитной и пропарочной камерах (содержание пиритных огарков 20 %).

Изменение напряжённости постоянного магнитного поля в диапазоне от 100 до 200 Э неодинаково влияет на прочность наполненных композитов. Каждому уровню напряжённости магнитного поля соответствует определённый уровень оптимального наполнения (100 Э – 20 %; 200 Э – 5 %).

Важной характеристикой упругих деформаций материала является динамический модуль упругости.

Для изучения влияния постоянного магнитного поля на динамический модуль упругости наполненных цементных композитов в состав вводили пиритные огарки в количестве 5, 10 и 20 %.

Установлено, что при 20 %-м наполнении и напряжённости магнитного поля 100 Э динамический модуль упругости увеличивается (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Зависимость динамического модуля упругости наполненных цементных композитов от режимов твердения при напряжённости магнитного поля 100 Э

№ п/п	Режим твердения	Динамический модуль упругости, МПа (1 сутки)			
		Количество наполнителя (пиритные огарки), % от массы цемента			
		0	5	10	20
1	Обработка в магнитной камере (напряжённость 100 Э, 8 часов)	7003	5670	5645	7500
2	Обработка в магнитной и пропарочной камерах (напряжённость 100 Э, 8 часов)	6514	5670	5398	7221
3	Обработка в пропарочной камере (8 часов)	6519	5281	5294	7221

Рост динамического модуля упругости при 20 % содержания наполнителя наблюдается и при активации в магнитном поле 200 Э. Увеличение напряжённости магнитного поля от 100 до 200 Э повышает уровень динамического модуля упругости композитов, наполненных пиритными огарками (см. табл. 3 и 4). Обработка в магнитной камере при 200 Э в течение 8 часов позволила добиться повышения динамического модуля упругости на 34 % при добавлении 20 % наполнителя.

Таблица 4

Зависимость динамического модуля упругости наполненных цементных композитов от количества наполнителя (пиритных огарков) и способов обработки при напряжённости магнитного поля 200 Э

№ п/п	Режим твердения	Динамический модуль упругости, МПа (1 сутки)			
		Количество наполнителя (пиритных огарки), % от массы цемента			
		0	5	10	20
1	Обработка в магнитной камере (напряжённость 200 Э, 8 часов)	6554	6802	8578	8813
2	Обработка в магнитной и пропарочной камерах (напряжённость 200 Э, 8 часов)	7001	5578	8405	9000
3	Обработка в пропарочной камере (8 часов)	6555	5503	7344	8601

Экспериментальными исследованиями установлено, что применение магнитной активации даёт возможность:

- повысить предел прочности цементных наполненных композитов на 29,6 %;
- снизить расход цемента до 20 % без изменения предела прочности при сжатии;

– повысить на 34 % динамический модуль упругости при существенном (20 %-м) сокращении расхода цемента.

Повышение прочности наполненных цементных композитов зависит от напряжённости магнитного поля, степени наполнения и объясняется повышением однородности структуры под действием магнитного поля.

Список литературы

1. Гуль, В.Е. Об увеличении прочности металлонаполненных электропроводных полимерных пленок под влиянием статического магнитного поля / В.Е. Гуль, Н.Н. Туркова, М.Г. Голубева // Доклады АН СССР. – 1971. – Т. 199. – №1. – С. 135–137.
2. Манько, Т.А. Особенности структурных изменений фенолоформальдегидной смолы под воздействием магнитного поля / Т.А. Манько, А.Н. Кваша, В.Г. Назаренко // Механика композитных материалов. – 1980. – № 6. – С. 1113–1114.
3. Молчанов, Ю.М. Структурные изменения полимерных материалов в магнитном поле / Ю.М. Молчанов, Э.Р. Кисис, Ю.П. Родин // Механика полимеров. – 1973. – №4. – С. 737–761.
4. Селяев, В.П. Магнитострикционная активация цементного вяжущего / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, К.В. Оськин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2008. – №3. – С. 47–51.
5. Селяев, В.П. Влияние сил трения на прочность бетона / В.П. Селяев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №3. – С. 12–17.
6. Селяев, В.П. Цементные композиции для высокопрочных бетонов / В.П. Селяев, А.Н. Лукин, А.В. Колотушкин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С. 4–8.
7. Селяев, В.П. Микроструктура перспективных теплоизоляционных материалов на основе диатомитов Среднего Поволжья / В.П. Селяев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №1. – С. 12–17.
8. Селяев, В.П. Свойства микрокремнезема из природного диатомита и его применение в производстве вакуумных теплоизоляционных панелей / В.П. Селяев, В.А. Неверов, О.Г. Маштаев, А.В. Колотушкин // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №7. – С. 15–25.

References

1. Gul, V.E. Increasing the strength of metal-conductive polymer membranes under the influence of a static magnetic field / V.E. Gul, N.N. Turkova, M.G. Golubeva // Reports of the USSR Academy of Sciences. – 1971 – V. 199. – №1. – P. 135–137.
2. Manko, T.A. Features of structural changes of the phenol-formaldehyde resin under the influence of the magnetic field / T.A Manko, A.N. Kvasha, V.G. Nazarenko // Mechanics of composite materials. – 1980. – № 6. – P. 1113–1114.
3. Molchanov, Y.M. Structural changes of polymeric materials in the magnetic field / J.M. Molchanov, E.R. Kisis, Y.P. Rodin // Mechanics of polymers. – 1973. – № 4. – P. 737–761.
4. Selyaev, V.P. Magnetostrictive activation of the cement binder / V. P. Selyaev, P.V. Selyaev, L.I. Kupriyashkina, K.V. Oskin // News of higher educational institutions. Construction. – 2008. – №3. – P. 47–51.
5. Selyaev, V.P. Friction influence on concrete strength / V. P. Selyaev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2012. – №3. – P. 12–17.
6. Selyaev, V.P. The cement compositions for high-strength concrete / V. P. Selyaev, A.N. Lukin, A.V. Kolotushkin // Regional architecture and engineering. – 2013. – №3. – P. 4–8.
7. Selyaev, V.P. Microstructure of perspective thermal insulating materials made of diatomite from middle Volga Region / V. P. Selyaev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2013. – №1. – P. 12–17.
8. Selyaev, V.P. Properties of silica fume procured from natural diatomite and its usage in the production of vacuum insulations panels/ V. P. Selyaev, V.A. Neverov, O.G. Mashtaev, A.V. Kolotushkin // Magazine of Civil Engineering. – 2013. – №7. – P. 15–25.

APPLICATION OF ULTRACENTRIFUGATION METHOD FOR DETERMINING PARTICLE SIZES IN THE COLLOIDAL SOLUTIONS OF METAL OXIDES

Pavel Kudryavtsev¹, Oleg Figovsky²

¹ Professor, HIT Holon Institute of Technology, 52 Golomb Street, POB 305 Holon 5810201, Israel,

e-mail: pgkudr89@gmail.com

² Professor, Polymate Ltd – Israel Research Center, POBox 73, MigdalHaEmek 10550, Israel

In recent years, ultracentrifugation method was developed, due to the growth of research in the field of nanotechnology. Ultracentrifugation is the most rigorous way to determine the molecular mass and hydrodynamic properties of macromolecules and colloidal particles. This method is applicable to both organic and inorganic substances to strictly speaking to any substance which optical properties are different from the solvent. To assess the capability of the method of ultracentrifugation, to metal oxide sols, experiments were conducted to determine the particle size of silicon oxide SiO₂ and zirconium oxide ZrO₂ in colloidal solutions. An approach is proposed which not only allows calculating the average size of sol particles, but also determining the shape of the particle size distribution function in the test sol.

Keywords: metal oxide sols; particle size; sedimentation analysis; ultracentrifugation

INTRODUCTION

Create analytical ultracentrifuge by Svedberg and his colleagues in 1920 [1], it was one of the most significant developments in the investigation of macromolecules and dispersed particles. In recent years, ultracentrifugation method was further developed in terms of the instrument base, thanks to the rapid growth of the electronics and precision engineering achievements. As an analytical method, this method has also received active development, due to the growth of research in the field of nanotechnology.

This method was originally developed for research of protein structure. Pioneering Svedberg researches led to the indisputable conclusion that proteins actually macromolecules containing huge amount of atoms connected by covalent bonds. Further, this method has been applied to the investigation of macromolecules such as polystyrene and caoutchouc. It has been shown that they exist in solution as the giant molecules and their molecular weight does not depend on the particular solvent used. With the nanotechnology impressive growth in recent years, this method has also become possible to use in the study of inorganic macromolecules existing in the form of dispersed, colloidal and other species of nanoparticles.

Analytical ultracentrifugation is the most universal, rigorous and accurate way to determine the molecular weight and hydrodynamic and thermodynamic properties of proteins and other macromolecules and colloidal particles. No other methods, which would be capable of providing the same information to a range comparable level of accuracy and reliability. The reason of this is that the sedimentation analysis method is based on securely laws of thermodynamics. All terms in the equations describing the behavior of sedimented particles can be determined experimentally.

Using ultracentrifugation method, as a method of determining particle size it is based on the premise that the behavior of particles a centrifugal field is determined by a number of parameters, the shape and density [2-4]. Analytical ultracentrifuge instrument is unsurpassed for direct measurement of molecular weight of dissolved substances and colloidal particles in the natural state. It is in the state in which they exist in the solution without having to rely on any calibration and without the need to make any assumptions about their shape.

No other methods, which are able to cover a wide range of molecular weights and dispersion particle sizes. This method is applicable to both organic and inorganic substances

to. Strictly speaking, it is applicable to any substance whose light absorption or refractive index is different from the solvent. Sedimentation methods require very small sample size ($20 \div 120 \times 10^{-3} l$) and low concentrations ($0,01 \div 1 g/l$). On the other hand, this method can be used for investigating the behavior of dispersed particles and macromolecules in concentrated solutions, for example, in the study of very weak interactions.

Sedimentation analysis is valuable for the study of changes in molecular weight or particle size, when they are reacted to form more complex structures. Most application functions related to the use of macromolecules and dispersed particles in nanotechnology depends on the interaction between the macromolecules, dispersed particles, and their surrounding phase. Sedimentation experiments allow studying a wide range of interactions including binding of small molecules and ions to macromolecules or particles, the association of macromolecules and dispersed particles, and heterogeneous interactions.

A study of sedimentation rate in the analytical ultracentrifuge provide a definition of sedimentation coefficient and diffusion coefficients, which contain information about the size and shape of the macromolecules particles, and the interactions between them.

1. Fundamentals of Analytical Ultracentrifugation Method

As the particle moves in a centrifugal field, there are two main forces that act on it. The first – the gravitational force F_g , which, in the case of ultra-centrifuges is the centrifugal force – F_c , and the second is the force of friction F_{fr} . Since sedimentation occurs in a particular environment, the motion of a particle in laminar resistance occurs; the friction force is proportional to the velocity of motion of the particle:

$$F_{fr} = B \cdot u = B \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (1)$$

where B – is a coefficient of friction that depends on the shape and particle size; $u = \frac{dx}{dt}$ – Sedimentation rate.

Cumbersome or elongated particles experience a greater frictional resistance than compact, smooth, spherical particles. The expression for the friction forces arising during the motion of spherical particles can be represented in the form of Stokes' law:

$$B = 6\pi\eta r$$

and

$$F_{fr} = 6\pi\eta r \cdot \frac{dx}{dt}, \quad (2)$$

where η – dynamic viscosity of the medium; r – radius of the particle.

The centrifugal force, or the gravity force F_{fr} , is proportional to the mass of the particle and the acceleration. In the rotating rotor, the acceleration determined by the distance of the particle from the axis of rotation R , and the square of the angular speed ω (in radians per second). Thus, the centrifugal force F_g is proportional to the curvature of the particle trajectory, and, subject to the law of Archimedes is:

$$F_{ц} = m_{от} \cdot a_{ц} = V \cdot (\rho - \rho_0) \cdot \omega^2 \cdot x, \quad (3)$$

where $m_{от} = V \cdot (\rho - \rho_0)$ the relative mass of the particles; ρ and ρ_0 – the density of the dispersed phase and the dispersion medium; $\omega = 2\pi\nu$ – angular velocity (ν – number of revolutions per second); x – the radius of the particle trajectory.

In the process of sedimentation, at some point, there is a balance between the frictional force and the centrifugal force:

$$6\pi\eta r \cdot \frac{dx}{dt} = V \cdot (\rho - \rho_0) \cdot \omega^2 \cdot x. \quad (4)$$

After collecting parameters that relate to the particle, on one hand, and the parameters which relate to the experimental conditions on the other hand, we can write:

$$\frac{V \cdot (\rho - \rho_0)}{B} = \frac{u}{\omega^2 \cdot x} \equiv s. \quad (5)$$

Parameter $\frac{u}{\omega^2 \cdot x}$, is the particle velocity per unit of gravitational acceleration, and is called the sedimentation coefficient, and as can be seen from equation (5) depends on particle properties. In particular, it is proportional to the relative mass of the particle and inversely proportional to the coefficient of friction. In addition, it depends on the experimental conditions. Particles with different masses or different shapes and sizes will generally move at different velocities in a given field of centrifugal force; i.e., they will have different sedimentation coefficients.

Thus, during the flow of the deposition process by the centrifugal force, dissolved material starts to accumulate in the bottom of the centrifuge cell. The concentration of the test product at the bottom part of the cell began to increase, and the diffusion process can begin resist of sedimentation process. After appropriate period of time, two opposite processes reach equilibrium in all parts of the solution in the cell and, for each dissolved component concentration increases in geometric progression towards the bottom of the cell. In sedimentation equilibrium, sedimentation and diffusion processes are balanced. Concentration distribution from the top cell to the bottom part, no longer changes with time, and this moment depends on the mass of the particles.

After separating the variables in equation (4) and integrating obtain

$$\ln\left(\frac{x}{x_0}\right) = \frac{2r^2(\rho - \rho_0)\omega^2 t}{9 \cdot \eta}, \quad (6)$$

$$r = \sqrt{\frac{9\eta \ln\left(\frac{x}{x_0}\right)}{2(\rho - \rho_0)\omega^2 t}}, \quad (7)$$

where x_0 – the initial distance of the particle from the axis of rotation; x – distance from the rotational axis to the particle after a centrifugation time t .

Thus, by setting the duration of the centrifugal field, the distance traveled by the particles by knowing the angular rate and constant parameters of the system is possible to calculate the size of the dispersed phase particles.

To achieve fast settling and minimizing diffusion requires high angular velocities. In most models analytical ultracentrifuge rotor capable of rotating at speeds up to 60,000 rpm. To minimize heat generation by friction of the air, and to minimize the aerodynamic turbulence, rotor is generally placed in a vacuum chamber. The rotation of the rotor must be stable and free from vibrations or precession. Instability of the rotor movement can lead to a convention and mixing of cell contents.

Analytical ultracentrifuge rotors are able to withstand the huge gravitational pressure. At 60,000 rpm, typical ultracentrifuge rotor creates a centrifugal field in the cell about 250000g. Under these conditions, mass 1 g equivalent weight of 250 kg! The rotor must be able to transmit light through the sample, and must be available for temperature measurement.

2. Experimental Procedure

Ultracentrifuge cells must also withstand the stresses caused by the extremely high gravitational fields, must not flow or deform, and thus need to transmit light through the sample for measuring the concentration distribution. To achieve these objectives, the sample, usually contained in a sector-shaped cavity disposed between two thicker windows from optical grade quartz, or sapphire. The cavity made in the central part of the rotor body made of aluminum alloy and reinforced with epoxy resin.

In this paper to determine the average particle size in the sols were used analytical ultracentrifuge Hungarian production «MOM 3180» equipped with optical Schlieren system of Philpot-Svensson.

Analytical ultracentrifugation cell has a double sector that allows counting the effect of the components in a solvent, absorbing light. It is used for correcting redistribution components of solvents, especially at higher values of g . A sample of solution is placed in one sector, and the sample of solvent suitable composition is placed in the second sector (Figure 1). The optical system carries out measurement of optical density difference between the sample and reference sectors, in a manner similar to the double-beam spectrophotometer. Two-sector cells also contribute to measuring the differences in the coefficients of sedimentation and diffusion coefficients.

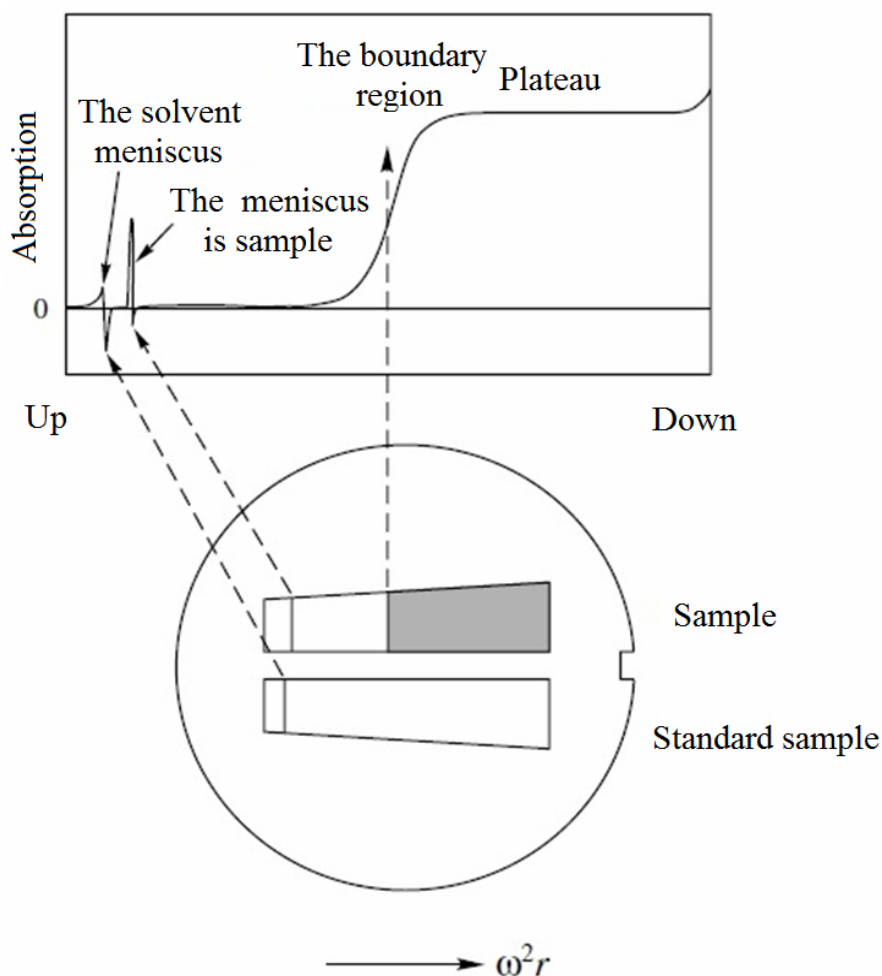


Figure 1. Type of double sector, which is in the central part of the cell body

In the optical, Schlieren system, the light deviates from the strict radially passing through the areas in the cell where the concentration change and therefore changes the refractive index of the medium. This phenomenon is analogous to how light be deflected in the direction of normal to the surface passes through the prism. Schlieren system is derived from the German word «band». Optical, Schlieren system converts the radial deflection of light in

the vertical movement of the camera image. This shift is proportional to the concentration gradient. Light passing through the two cells – a sample and a reference, in the area of a uniform concentration will be accurately radially, and the image is moved vertically in these areas.

Thus the Schlieren image, is a measure of the concentration gradient $\frac{dC}{dx}$, as a function of the radial distance x (Figure 2 A). Concentration measurement can be determined at any point in the cell by integrating the Schlieren profile relative to a predetermined point. It can be carrying out, for example, relative to the meniscus. However, the determination of the absolute concentration at any other point is possible only if the concentration is known at the starting point.

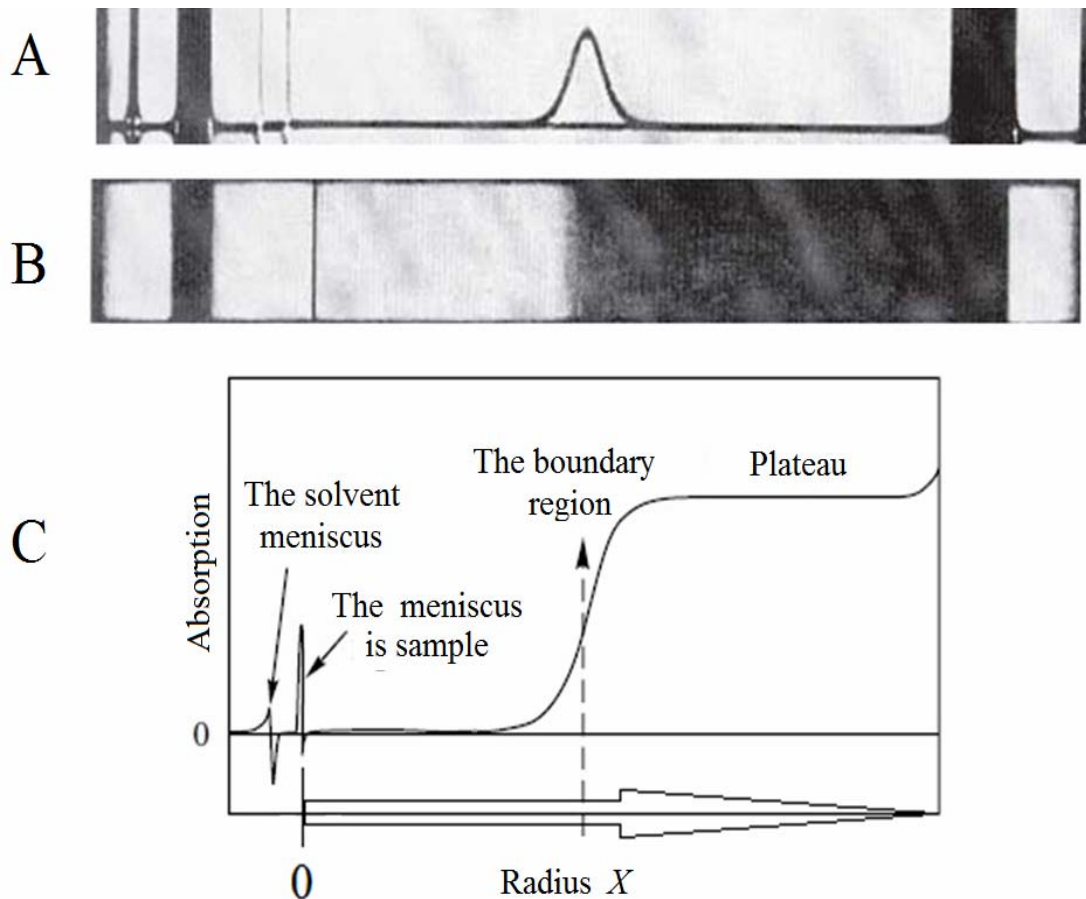


Figure 2. Comparison of the data obtained from the ultracentrifuge:
A – the Schlieren image; B – photographic absorption; C – digital values of absorption in the optical system

The main data obtained in experiments with the analytical ultracentrifuge, are reports of a concentration distribution. The most direct method of data collection is a set of concentration measurements at different radial positions, and at a given time. For dissolved substances their optical density follows the law of Lambert-Beer and is proportional to the concentration.

The sample solution is placed in one sector, and the solvent sample, similar to that which is in equilibrium with the sample is placed in the reference sector. The sample solution is placed in one sector, and the solvent sample is placed in the reference sector. As the solvent of the sample, typically is using a solvent similar to that which is in equilibrium with the sample. Usually, the reference sector is filled with a solution in a somewhat larger volume than the sample sector, it is necessary that the meniscus of the reference sample did not hide contour of the meniscus of sample.

Optical, Schlieren system of Philpotts-Svensson allows to register the dependence of the gradient of the refractive index dn/dx of the distance x to the axis of rotation. Refractive index difference $\Delta n = n_p - n_0$, directly connected with the concentration of the dispersed phase c , through the proportionality factor which is called the specific refractive index increment, that is:

$$n_p - n_0 = k \cdot c, \quad (8)$$

where n_0 – solution refractive index; n_p – solvent refractive index.

3. Readout and Processing of Experimental Results

The value of the concentration in this equation is expressed by the ratio of the mass of the solute to the volume of solution. The linearity of this relationship ($k = \text{const}$) is usually well satisfied [5].

Differentiation with respect to x gives:

$$\frac{dn}{dx} = k \cdot \frac{dc}{dx}. \quad (9)$$

In order to evaluate the application of the method to ultracentrifugation sols of metal oxides have been conducted experiments to determine the size of particles of silicon oxide SiO_2 and zirconium oxide ZrO_2 , in solutions of, silica sol, and zirconia sol. The classical methods of preparation of sols are dialysis and electrodialysis, ion exchange, gel peptization, hydrolysis and electrolysis of metal compounds. In this paper, for silica sol and zirconia sol was used ion exchange method. The average particle size was determined by the method developed by Sears and modified by the author [6]. Simply, this method makes it possible to monitor the changes in particle size up to 10 nm. However, it can be successfully used in the case of particle sizes up to 1 μm . The results were used for comparison with the ultracentrifugation method.

The experimental procedure consists in the following: sample of colloidal solution is introduced into one part of the analytical cells, to another part of the cell – distilled water. Analytical cell set in an analytical centrifuge rotor, which is fixed to the rotation axis. In order to avoid heating of the rotor by air friction, the rotor rotation is in the evacuated chamber ($P = 0.1 \text{ mmHg}$). The process of sedimentation, which occurs at rotor rotation at speeds of 10,000 – 40,000 rpm, is fixed by a special camera. In modern models of analytical centrifuges for image registration of analytical cells using digital techniques, with subsequent digital processing.

Usually in the process of sedimentation of the sol particles is observed a picture shown in Figure 3.

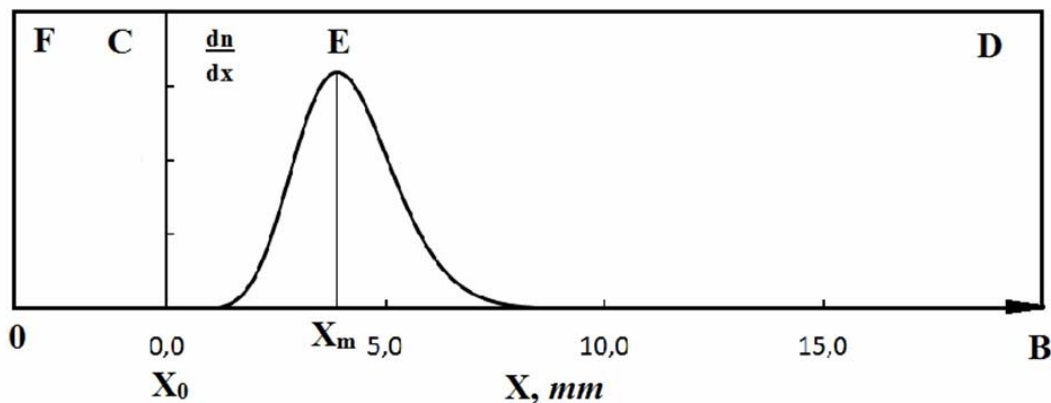


Figure 3. The dependence of the refractive index gradient dn/dx of the distance x to the axis of rotation: OF – rotor axis of rotation; X_0C – liquid meniscus; BD – the bottom of the cell; OX_0B – baseline; E – The point in the solution with a maximum concentration gradient of the dispersed phase

Method of calculation is as follows. On the image of the sedimentation curve was measured distance $OX_0 = x_0$ from the rotor axis to the meniscus of the liquid. Carry out a straight line from point E, which is parallel to X_0S , to the intersection with the baseline and measure the distance from the intersection point to the rotor axis of rotation.

Equations (6) convert to a linear form relative to the time of centrifugation. For ease of calculation, parameter x_0 , as a constant, will move to the right part of the equation, and we obtain the following relationship:

$$\ln(x) = \ln(x_0) + \frac{8\pi^2 r^2 (\rho - \rho_0) v^2}{9 \cdot \eta} \cdot t = \ln(x_0) + K \cdot t. \quad (10)$$

Further we perform measurements of sedimentation curves, at different time points, and obtain the function of time, position of the maximum on these curves. The results are shown in Figure 4.

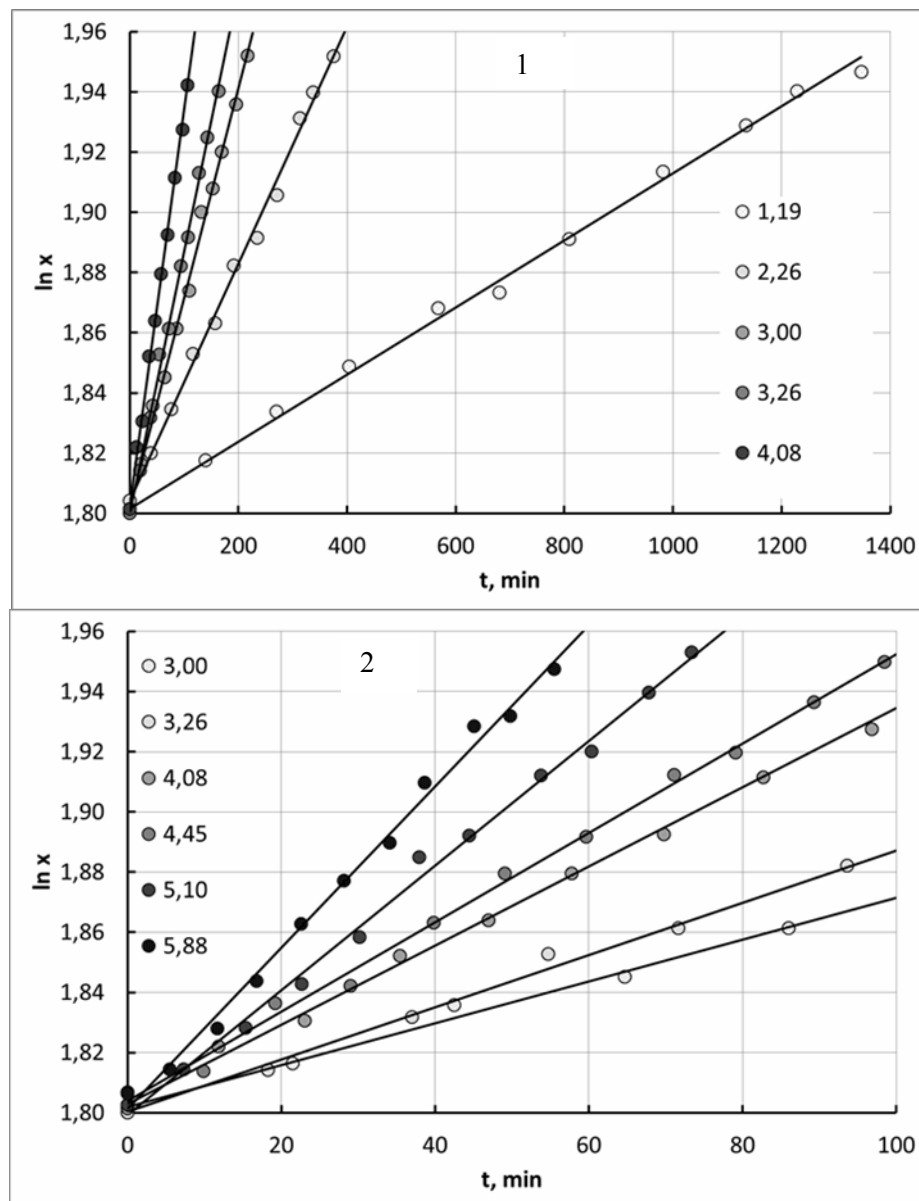


Figure 4. The position of the peak on the sedimentation curves for silica sol, depending on the time of centrifugation. The numbers in the figures is the diameter of the silica sol particles:
1 – Small particles; 2 – Large particles

From these dependencies, using the method of least squares, we obtain the value of K , the slope of these lines. From this we calculate the size of the sol particles:

$$D_m = \sqrt{\frac{9\eta K}{2\pi^2 (\rho - \rho_0) v^2}} \quad (11)$$

To compare the results, the formula (7), we calculate the particle diameter is held during sedimentation t , the distance from the meniscus of the liquid, to the point x_m :

$$D_m = \sqrt{\frac{18\eta \ln\left(\frac{x_m}{x_0}\right)}{(\rho - \rho_0) \omega^2 t}} \quad (12)$$

Further, the particle diameter is averaged, which were calculated at different times. The results are compared to the data calculated from the driving dynamics of precipitation front, and averaged, if necessary. This data is considered an average diameter of the particles in the system.

4. Results and discussion

From these data can see that there are certain restrictions on the range of the measured values of the size of the sol particles. So to determine the particle size of about 1 nm is required for a long ultracentrifuge operation time. For example, with a rotor speed of 40,000 rpm , it takes about 20 *hours* to obtain more or less accurate measurements. Thus, from figure 5, it is seen that, for example, for particles of diameter 10.68 nm , for displacement in a cell, the point with the maximum concentration gradient of the dispersed phase in a solution of 5 mm , required substantially different, measuring time, at various rotor speeds. For such particles it turns out that for reducing the measurement errors, it is necessary make the measurement when the rotor rotation speed $<25000 rpm$.

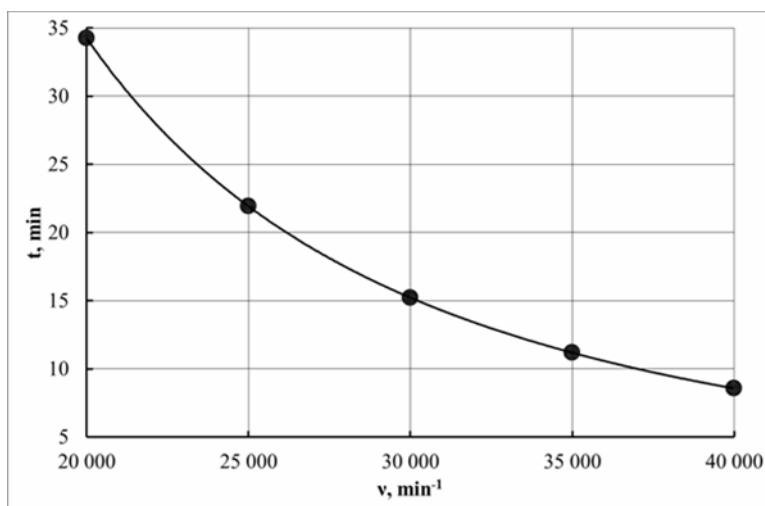


Figure 5. Time of displacement in a cell, the point with the maximum concentration gradient of the dispersed phase in a solution of 5 mm , for silica sol particles, an average diameter of 10.68 nm

This approach makes it possible not only to calculate the average size of the sol particles, but also determine the shape of the size distribution of particles in the tested sol. For this purpose, we carried out the digitization of Schlieren curve profile, for example, from Figure 3. Then OB axis is converted from the distance from the meniscus, expressed in units of length, in size of the sol particle diameter in nm . This conversion is made according to formula (11). The results are shown in Figure 6.

Obtained as a result of such procedures, the relationship can be further processed numerically by its approximation, for example, of normal probability distribution function. The normal distribution [7,8], also called Gaussian distribution – a probability distribution, which is given by the probability density function, coinciding with a Gaussian function:

$$f(D) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(D-D_m)^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad (13)$$

where parameter d_m – mathematical expectation (average), median and mode of the distribution function, and the parameter σ – standard deviation of the distribution; σ^2 – dispersion.

Perhaps the use of other distribution functions. Kind of function must be selected according to the specific system, methods for its preparation and additional processing methods. An approximation can be made in various ways, for example, by the method of least squares minimization of the functional:

$$Z(D_m, \sigma) = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} (f_{\text{эксн}}(D) - f_{\text{расч}}(D, D_m, \sigma))^2 dD. \quad (14)$$

In the case of polydispersity, which is expressed in the presence of several peaks in the Schlieren curve, or it's a significant broadening and asymmetry, the estimated distribution function may be as follows:

$$f_{\text{расч}}(D, D_{m1}, \sigma_1, \dots, d_{mN}, \sigma_N) = \sum_{i=1}^N \alpha_i f(D, D_{mi}, \sigma_i), \quad (15)$$

where i – this is the component index, in the case of multimodal distribution, the particle size of sol; α_i – this is the share of the i -th component:

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1.$$

Thus it is necessary to consider the fact that an increase in the number of components will lead to 3-fold increase in the functional dimension (15), and accordingly increasing the required number of experimental points taken with a Schlieren curve. That is to say $N_{\text{эксн}} \gg 3N$.

Based on the obtained experimental function of particle size distribution $f_{\text{эксн}}(D)$ in the sols, it is possible to calculate the parameters of this distribution. The main characteristics of the distribution function are position characteristics; scattering characteristics; characteristics of asymmetry and excess. The basis of this analysis is to determine of its moments. The first moment of the distribution function is a mathematical expectation (mean value (D_{aver}), distribution center):

$$\mu_1 = MD = D_{\text{aver}} = \int_{-\infty}^{+\infty} D f_{\text{эксн}}(D) dD \quad (16)$$

The second moment of the distribution function is the dispersion of distribution:

$$\mu_2 = DD = \sigma^2 = M(D - D_{\text{aver}})^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (D - D_{\text{aver}})^2 f_{\text{эксн}}(D) dD. \quad (17)$$

The third moment of the distribution function, characterized by its asymmetry:

$$\mu_3 = M(D - D_{\text{aver}})^3 = \int_{-\infty}^{+\infty} (D - D_{\text{aver}})^3 f_{\text{эксн}}(D) dD. \quad (18)$$

It allows you to estimate asymmetry coefficient:

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}} = \frac{\mu_3}{\sigma^3}. \quad (19)$$

If the asymmetry coefficient is positive $\gamma_1 > 0$, it means that the right tail of the distribution is longer than the left, otherwise it is negative $\gamma_1 < 0$. If the asymmetry coefficient is close to zero $\gamma_1 \cong 0$, the distribution is symmetric about its mathematical expectation. The fourth moment of the distribution function is characterized its deviation from mono modality and normality of the distribution:

$$\mu_4 = M(D - D_{aver})^4 = \int_{-\infty}^{+\infty} (D - D_{aver})^4 f_{эксн}(D) dD. \quad (20)$$

It, in its turn allows us to estimate excess coefficient:

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3. \quad (21)$$

Excess coefficient of the normal distribution is zero $\gamma_2 = 0$. It is positive $\gamma_2 > 0$ if the peak of the distribution is sharp, and is about the mathematical expectation, and is negative $\gamma_2 < 0$ if the top is smooth or has several peaks.

An important aspect of any researches is to compare the data obtained by different methods of analysis. Thus it was investigated colloidal solutions of silicon and zirconium oxides and defined particle size in these solutions by ultracentrifugation, and by the method of Sears, through the definition the specific surface area of the sol particles.

To assess the effect of polydispersity, on the measured value of particle sizes, experiments to determine their values have been held for a polydisperse sols having different dispersion of the particle size distribution function. The results are shown in Figure 7.

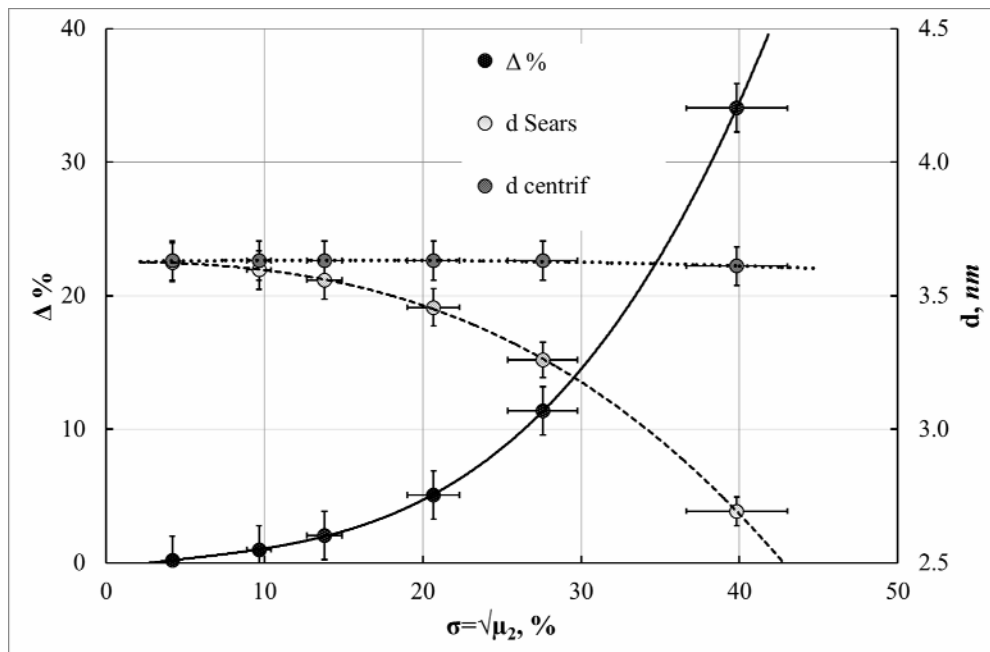


Figure 7. Dependence of the measured value, the average particle size $d_{centrif}$ and the value of the particle size, determined by the method of Sears d_{Sears} , as a function from the calculated dispersion, of the distribution function particle size σ and also the relative deviation (Δ) obtained values of particle sizes

These results indicate that in case of sols with broadened distribution function of particle size is observed understating measured value of the average particle size. This is related to the increase in the value determined, the specific surface area of the sol particles, in their determination by Sears's method. From these data it is also seen that if dispersion value is below $15 \div 20\%$ of the value of the measured particle size polydispersity almost no introduces significant distortion in the obtained results.

Comparative data obtained by ultracentrifugation, and by the method of Sears, shown in Table.

Comparison of different methods for determining particle sizes in the colloidal dispersions of metal oxides. It is a comparison of methods of sedimentation analysis using ultracentrifugation, and by Sears's method, through the definition of the sol particles specific surface

Type of sol	d_{Sears}, nm	d_{centrif}, nm	$\sigma, \%$	Asymmetry coefficient, γ_1	Excess coefficient, γ_2
SiO ₂	1.9	1.2	48.0	-0.653	-2.351
	2.3	2.3	6.2	-0.001	-0.003
	3.0	3.0	8.0	-0.001	0.003
	3.6	3.6	9.7	-0.001	0.002
	4.1	4.1	11.0	-0.001	0.001
	4.5	4.5	12.0	-0.001	0.001
	5.1	5.1	13.8	-0.002	-0.012
	5.7	5.9	15.5	0.171	-0.291
ZrO ₂	1.8	1.8	5.4	-0.001	-0.107
Al ₂ O ₃	4.1	4.1	11.0	-0.001	0.001

From these data it is seen that these methods generally give good agreement. The largest deviations are observed when determining the size of small particles, and for systems with a wide particle size distribution. The first case involves a violation of the symmetry of the distribution function, which is due to the emergence of a polymodality in the synthesis of the sol. In the second case, it is possible to observe the same effects, which were presented above in Figure 7. These are due the increase in the value determined, of specific surface of the sol particles by increasing the proportion of small particles in the general ensemble of the sol particles. For zirconia ZrO₂, and alumina Al₂O₃ colloidal solutions, also observed a good reproducibility of results in the determination of the colloidal particles size.

Conclusion

Ultracentrifugation is the most rigorous way to determine the molecular mass and hydrodynamic properties of macromolecules and colloidal particles. This method is applicable to both organic and inorganic substances to strictly speaking to any substance whose optical properties are different from the solvent. In this work it was suggested ultracentrifugation method used to study colloidal solutions of metal oxides as one of the important objects required for the development of nanotechnology methods. To assess the capability of the method of ultracentrifugation, to metal oxide sols, experiments were conducted to determine the particle size of silicon oxide SiO₂ and zirconium oxide ZrO₂ in solutions of silica sol and zirconia sol. An approach is proposed which not only allows calculating the average size of sol particles, but also determining the shape of the particle size distribution function in the test sol. The results obtained by the ultracentrifugation method were in good agreement with other methods for determining particle sizes in sols of metal oxides.

References

1. Svedberg, T., Pedersen, K.O. The Ultracentrifuge. – Oxford: Clarendon Press, 1940.
2. Frolov Yu.G. Kurskolloidnoykhimii. – M.: Khimiya, 1988. – 464 p.
3. Khodakov G.S., Yudkin Yu.P. Sedimentatsionnyy analiz vysokodispersnykh sistem, M.: Khimiya, 1981. – 192 p.
4. Ralston G. Introduction to Analytical Ultracentrifugation, Department of Biochemistry The University of Sydney. – Sydney, Australia, 1993. – 99 p.
5. Bowen T.J., Rowe A.J. Introduction to Ultracentrifugation // Published by John Wiley & Sons Ltd (1970), ISBN 10: 0471092150.
6. Kudryavtsev P., Figovsky O. The sol-gel technology of porous composites, Monograph. – LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 466 p.
7. Ash, R.B. Basic probability theory. Dover ed. – New York: Wiley, 2008.
8. Shiryaev A.N. Veroyatnost'. — M.: Nauka, 1980. – 574 p.

УДК 691.276.54.06

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: gavrilov79@inbox.ru

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева

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

Губанов Денис Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные материалы и
технологии»
E-mail: gubanovda@mail.ru

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

*Пензенский государственный
технологический университет*

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Gavrilov Mikhail Aleksandrovich,
Senior Tutor of the department "Descriptive
Geometry and Graphics"
E-mail: gavrilov79@inbox.ru

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

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

Gubanov Denis Aleksandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department "Construction Materials and
Technologies"

Erofeev Vladimir Trofimovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department "Construction Materials and
Technologies"

Penza State Technological University

Russia, 440039, Penza, 1A/11
travel Baydukova/Gagarin street,
tel.: (8412) 49-54-41,
fax: (8412) 49-60-86

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

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

Изучены реологические свойства наполненных эпоксидных композитов с наполнителями на основе отходов строительного и химического производств. Установлены оптимальные и предельные значения степеней наполнения для композитов данного вида. Выявлены особенности деформативных процессов в эпоксикомпозитах на основе отходов производства.

Ключевые слова: эпоксидный композит, наполнитель, отходы производства, реологические свойства

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

Rheological properties of epoxy composites with fillers based on chemical and construction waste materials have been studied. Optimal and limitational values of the filling degree for such composites have been determined. Effects of deformative processes in given composites have been revealed.

Keywords: epoxy composite, filler, industrial waste, rheological properties

В зданиях и сооружениях, в которых строительные изделия и конструкции подвергаются воздействию агрессивных сред, широкое применение находят полимерные материалы [1, 3, 5]. Их используют как для изготовления изделий и конструкций, так и в качестве различных защитных покрытий. [3, 6–9]. В сильноагрессивных средах используют полимербетоны на основе эпоксидных связующих [5, 10-20]. Надежность и коррозионная стойкость полимерных композиционных материалов (ПКМ) в химических, биологических и других агрессивных средах зависит от плотности структуры в композиционном материале [1–9]. Получение ПКМ с максимально плотной структурой достигается при обеспечении требуемых технологических факторов, таких, как необходимая подвижность и удобоукладываемость смесей при определенном способе формования. В свою очередь, подвижность и удобоукладываемость ПКМ определяются многими факторами: вязкостью связующего, дисперсностью наполнителя, степенью наполнения, температурой компонентов при смешивании, способом уплотнения.

Достичь наилучших показателей в этом отношении позволяет оптимальное соотношение между всеми компонентами композита – связующим, отвердителем и наполнителем. Важнейшим фактором, влияющим на многие свойства композиционных материалов, в том числе и реологические, является степень наполнения.

Проводились исследования реологических свойств наполненных эпоксидных композитов (ЭК). В качестве наполнителей были использованы:

- тонкодисперсные отходы строительного производства (ТДОСП), представляющие собой тонкодисперсные волокна асбеста (10-12 %) в сочетании с тонкодисперсным портландцементом (88-90 %) с удельной поверхностью 570 м²/кг;
- волокнистые отходы химической промышленности (ВОХП), представляющие собой тонкодисперсные волокна асбеста с содержанием основных минералов цементного клинкера в количестве от 0 до 10 %. Удельная поверхность 400 м²/кг;
- серпентин.

Оптимальное соотношение наполнителя и полимера определялось расчетно-экспериментальным путем. Влияние степени наполнения на кинетику возрастания предельного напряжения сдвига полимеррастворных смесей изучалось следующим образом. Испытания проводились с помощью конического пластометра типа КП-3. Данный метод основан на внедрении индентора (конуса) в упруговязкопластичную среду и состоит в изменении кинетики погружения конуса под действием постоянной нагрузки P . В момент достижения конусом равновесия в полимеррастворной смеси напряжение сдвига τ становится равным пределу текучести τ_0 и может быть определено по формуле

$$\tau = \tau_0 = \frac{P \cdot \cos(\alpha / 2)}{A}, \quad (1)$$

где $P \cdot \cos(\alpha / 2)$ – проектная нагрузка на боковую поверхность конуса; A – площадь соприкосновения конуса со смесью по боковой поверхности, м²; α – угол при вершине осевого конуса.

Если учесть зависимость A от величины погружения конуса h и α , то предел текучести τ_0 определится по формуле

$$\tau_0 = \frac{1}{\pi} \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{P}{h^2} = K_\alpha \cdot \frac{P}{h^2}, \quad (2)$$

где $K_\alpha = 1/\pi \cdot \cos^2(\alpha/2) \cdot \operatorname{ctg}(\alpha/2)$ – коэффициент, зависящий от угла α . При $\alpha = 30^\circ$ $K_\alpha = 0,959$; при $\alpha = 45^\circ$ $K_\alpha = 0,416$; при $\alpha = 60^\circ$ $K_\alpha = 0,214$.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 1 – 3.

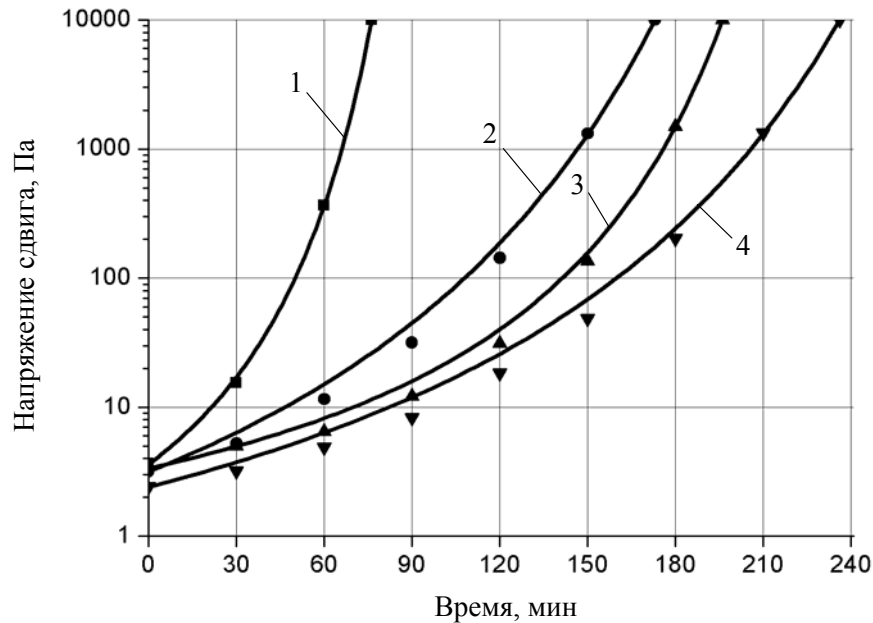


Рис. 1. Изменение предельного напряжения сдвига композиций на основе ТДОСП в зависимости от времени твердения и степени наполнения:

1 – П/Н = 1/1; 2 – П/Н = 1/5; 3 – П/Н = 1/10; 4 – П/Н = 1/15

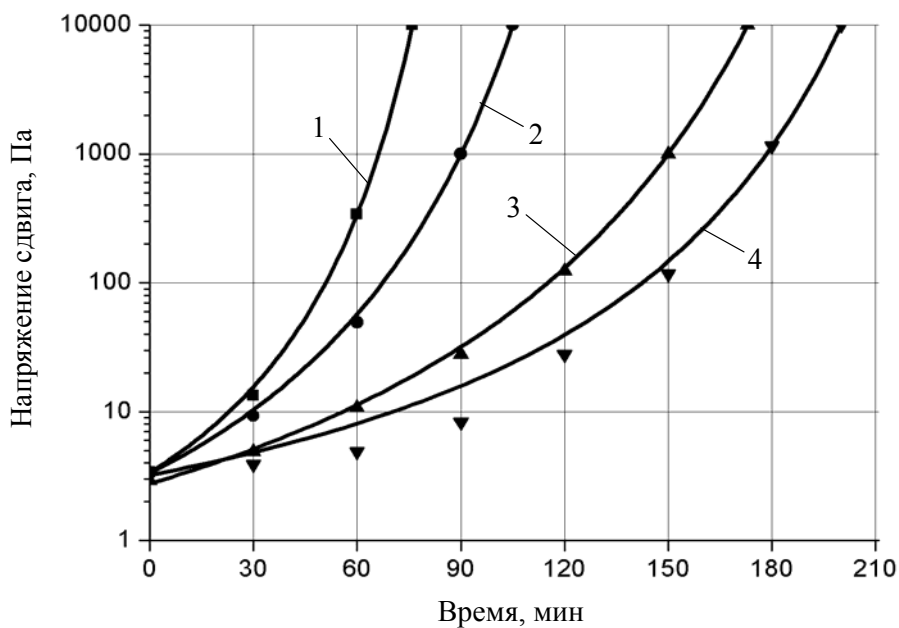


Рис. 2. Изменение предельного напряжения сдвига композиций на основе VOXP в зависимости от времени твердения и степени наполнения:

1 – П/Н = 1/1; 2 – П/Н = 1/5; 3 – П/Н = 1/10; 4 – П/Н = 1/15

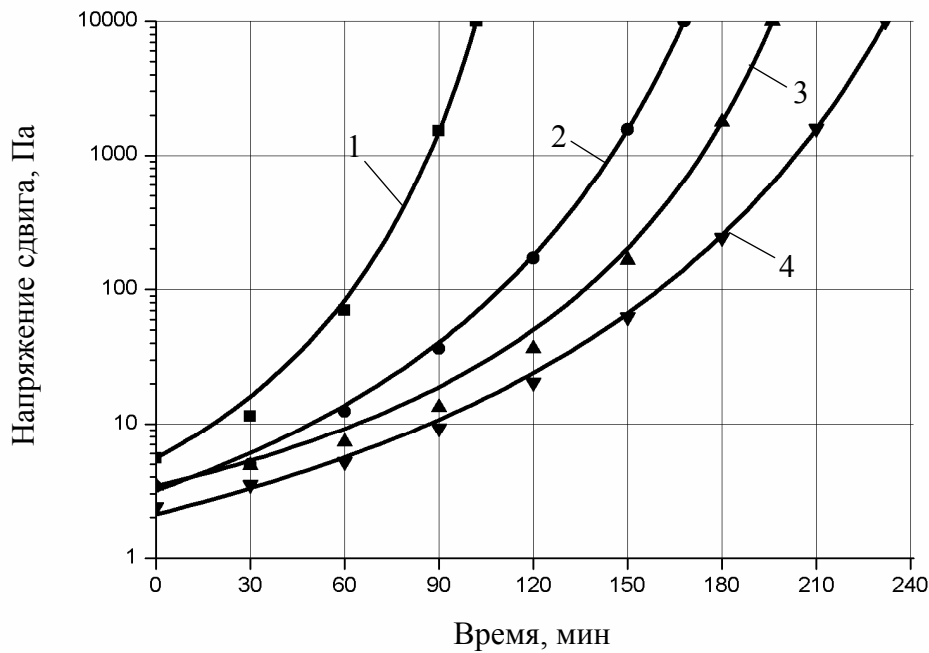


Рис. 3. Изменение предельного напряжения сдвига композиций на основе серпентина в зависимости от времени твердения и степени наполнения:
 1 – П/Н = 1/1; 2 – П/Н = 1/5; 3 – П/Н = 1/10; 4 – П/Н = 1/15

Полученные экспериментальные данные, описывающие зависимость напряжения сдвига τ от времени погружения конусного индентора t , были математически обработаны путем аппроксимации функцией общего вида:

$$\tau = ae^{\frac{b}{t+c}}, \quad (3)$$

где a , b и c – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Вид наполнителя	Степень наполнения	Коэффициенты		
		a	b	c
ТДОСП	1/1	0,03	-585,44183	-122,23653
	1/5	0,004	-2110,54585	-316,26399
	1/10	0,14	-871,50951	-273,97707
	1/15	0,013	-2005,86954	-383,99948
ВОХП	1/1	0,035	-545,69099	-119,43723
	1/5	0,012	-1005,89613	-178,78287
	1/10	0,014	-1503,63611	-284,55361
	1/15	0,1	-994,61046	-286,39053
Серпентин	1/1	0,04	-833,69944	-169,07572
	1/5	0,015	-1500,90334	-279,92369
	1/10	0,08	-1084,7111	-288,42485
	1/15	0,013	-1892,82489	-371,65917

Из графических зависимостей видно, что замедление сроков твердения полимер-растворов наблюдается уже при степени наполнения П/Н = 1/5. В работе [1] данный факт объясняется переходом эпоксидного связующего в тонкое пленочное состояние. При этом в процессе полимеризации происходит образование структурных элементов

глобулярного строения возле частиц тонкодисперсного наполнителя. При дальнейшем увеличении соотношения «полимер/наполнитель» происходит увеличение числа активных центров полимеризации, что выражается в более плавном характере пластограмм и возрастании вязкости композиций.

При соотношении П/Н = 1/10 время полного отверждения увеличивается до 120–180 минут вследствие перехода полимера в натянутое пленочное состояние. Эта степень наполнения соответствует началу формирования фибриллярной структуры матрицы. Увеличение времени отверждения способствует более полной релаксации незавершенных процессов усадки и снижению внутренних напряжений. В результате этого увеличиваются упругие, прочностные и эксплуатационные характеристики ЭК [1, 3].

Дальнейшее увеличение степени наполнения до П/Н = 1/15 в меньшей мере сказывается на замедлении отверждения композитов вследствие фибриллярной структуры матрицы [1, 3]. При увеличении степени наполнения выше П/Н = 1/15 часть полимера переходит в дискретное состояние, что приводит к дефициту вяжущего и резкому увеличению вязкости системы. По аналогии с цементными смесями такую композицию можно назвать «жесткой». В этом случае для получения композитов с максимально плотной структурой требуется прессование или вибропрессование. За счет применения данных способов на стадии изготовления материала происходят принудительное заполнение пустот между зёрнами наполнителя и офактуривание наружной поверхности материала химически стойким связующим. Данные способы также позволяют повысить физико-механические показатели и средонепроницаемость ПКМ.

Влияние степени наполнения на среднюю плотность литевых и прессованных полимеррастворов приведено на рис. 4. Исследования проводились на композитах, включающих ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП и ВОХП.

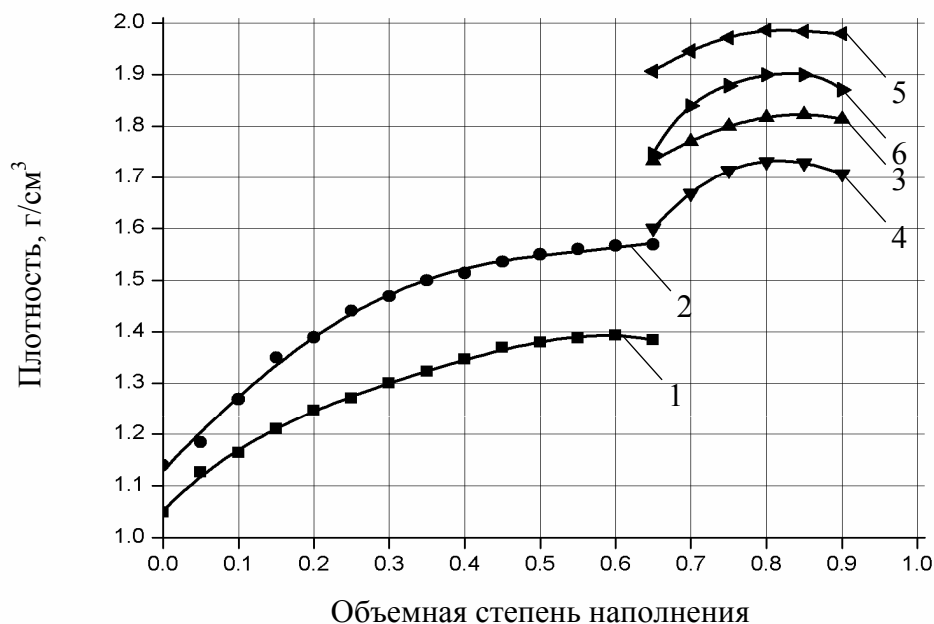


Рис. 4. Изменение плотности ЭКМ в зависимости от степени наполнения:
 1 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХВ, литевой способ; 2 – ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП, литевой способ;
 3 – ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП, прессование; 4 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХП, прессование; 5 – ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП, вибропрессование; 6 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХП, вибропрессование

Установлено, что наибольшее значение плотности самоуплотняющихся литевых образцов соответствует полимеррастворам с объемной степенью наполнения ВОХП и ТДОСП от 0,55 до 0,6. Смесь при твердении находилась под нагрузкой для сохранения правильной геометрической формы образцов.

Литьевые смеси теряют подвижность при степени наполнения 0,4–0,45. Это является результатом значительной вязкости системы вследствие закапсулирования эпоксидной матрицы избытком наполнителя. Часть наполнителя коагулирует в пространственные микро- и макрообразования, скрепленные тонким слоем связующего.

По-видимому, этим можно объяснить некоторое увеличение плотности при увеличении наполнения с 0,45 до 0,55. Также отмечено снижение технологических и физико-механических свойств литьевых ЭКМ при степени наполнения более 0,6. Увеличение степени наполнения подобных смесей приводит к снижению плотности вследствие увеличения суммарной пористости материалов.

Степень наполнения прессованных и вибропрессованных образцов ЭКМ также влияет на среднюю плотность. Как видно из данных, представленных на рис. 4, эта зависимость возрастает при увеличении степени наполнения от 0,65 до 0,85. Это можно объяснить тем, что полимерное связующее мигрирует в самые тончайшие пустоты композита за счет давления; при длительном контакте также будет осуществляться перемещение макромолекул. Также отмечено увеличение количества точек контакта по причине более тесного сближения молекул связующего и наполнителя.

Как видно, зависимость плотности ЭКМ от давления прессования носит ярко выраженный экстремальный характер. Однако в связи с тем, что при увеличении давления выше некоторых значений энергозатраты возрастают значительно интенсивнее, чем плотности материалов, давление прессования было ограничено интервалом 140–700 МПа.

Прессование (и особенно вибропрессование) ЭКМ не только способствует образованию плотной структуры композитов, но и повышает их прочностные характеристики, прежде всего на растяжение при изгибе, вследствие появления дополнительного межфазового контактного взаимодействия, которое может конкурировать с прочностью химических связей. Результаты испытаний модифицированных эпоксидных композитов на прочность на растяжение при изгибе и сжатии приведены на рис. 5 и 6 соответственно.

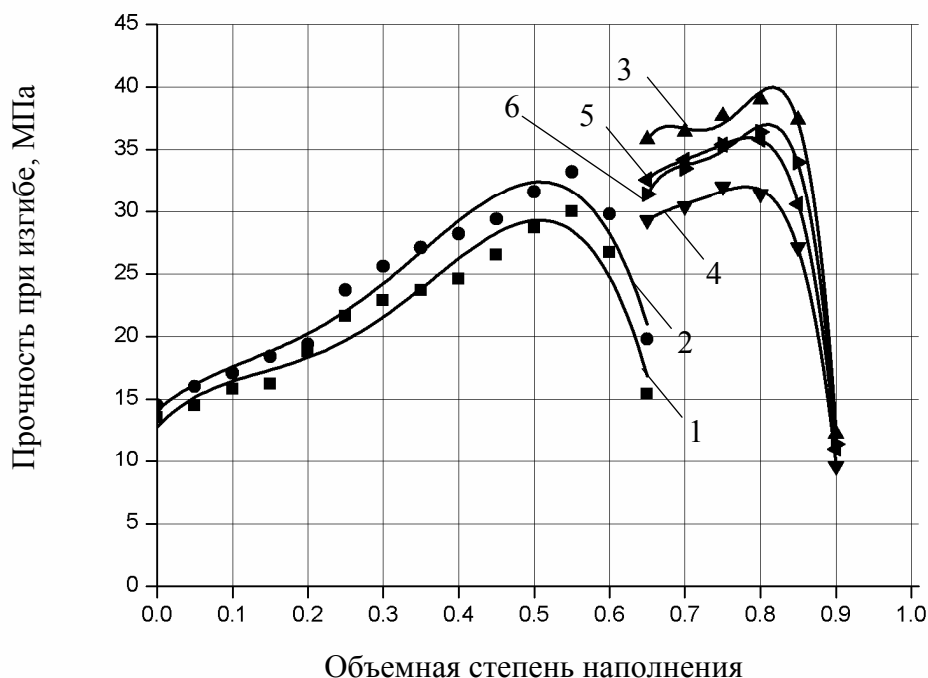


Рис. 5. Изменение прочности ЭКМ на изгиб в зависимости от степени наполнения:
 1 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХВ, литьевой способ; 2 – ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП, литьевой способ;
 3 – ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП, прессование; 4 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХП, прессование; 5 – ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП, вибропрессование; 6 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХП, вибропрессование

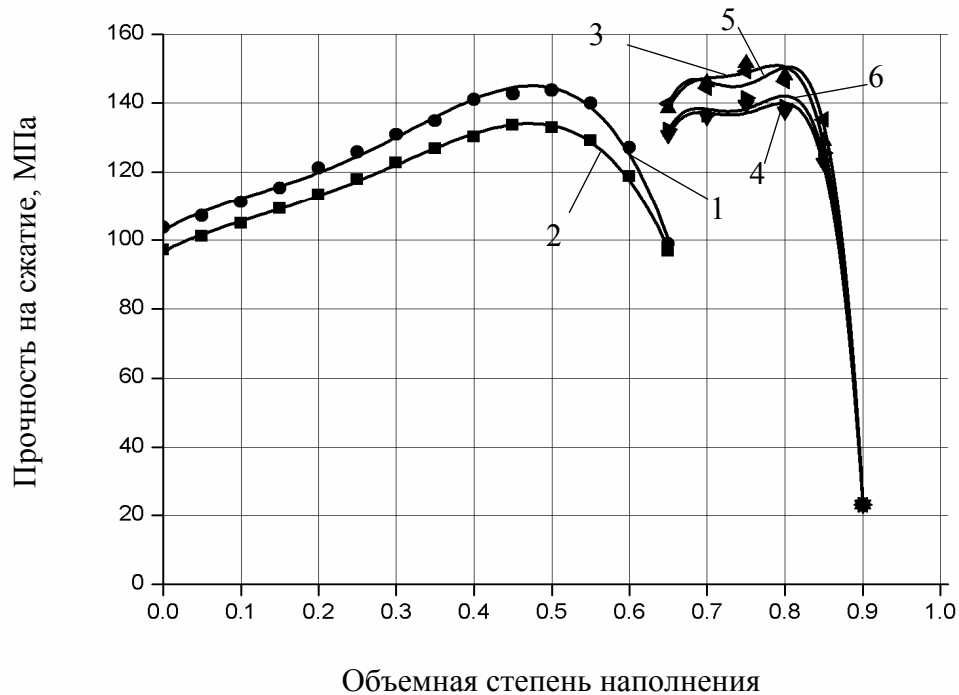


Рис. 6. Изменение прочности ЭКМ на сжатие в зависимости от степени наполнения:
 1 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХВ, литьевой способ; 2 – ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП, литьевой способ;
 3 – ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП, прессование; 4 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХП, прессование; 5 – ЭД-20,
 ПЭПА, ТДОСП, вибропрессование; 6 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХП, вибропрессование

Полученные по итогам реализации эксперимента данные были подвергнуты математической обработке [22, 23]. Целью данной обработки являлась аппроксимация рядов значений исследуемых свойств функцией в виде полинома четвертой степени: $y = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2 + A_3 \cdot x^3 + A_4 \cdot x^4$, где y – исследуемое свойство, x – степень наполнения. Значения коэффициентов A_0 , A_1 , A_2 , A_3 и A_4 , соответствующие аппроксимирующим кривым, приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

№ состава и способ изготовления	Свойство	Коэффициенты				
		A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
1	2	3	4	5	6	7
1 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХП, литьевой способ	Плотность	1,05	1,48	-3,68	6,40	-4,67
	Прочность при изгибе	12,76	63,81	-386,32	1287,87	-1276,29
	Прочность на сжатие	96,60	119,54	-462,21	1774,38	-2066,16
2 – ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП, литьевой способ	Плотность	1,13	1,53	-0,75	-2,69	2,83
	Прочность при изгибе	14,11	52,41	-265,08	992,68	-1051,97
	Прочность на сжатие	102,71	134,64	-614,31	2379,01	-2709,65
3 – ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП, прессование	Плотность	-0,11	6,49	-9,64	8,33	-3,33
	Прочность при изгибе	-19490,32	106611,54	-217699,10	197022,22	-66666,67
	Прочность на сжатие	-62463,52	341013,25	-695892,78	630525,93	-213999,10

1	2	3	4	5	6	7
4 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХП, прессование	Плотность	0,56	-4,59	23,18	-27,52	10,000
	Прочность при изгибе	-5901,87	33161,34	-69561,11	64859,26	-22666,67
	Прочность на сжатие	-67088,28	365573,85	-744272,78	672303,70	-227333,33
5 – ЭД-20, ПЭПА, ТДОСП, вибропрес- сование	Плотность	10,89	-52,77	111,36	-100,81	33,33
	Прочность при изгибе	-7442,99	41601,27	-86834,44	80548,15	-28000,00
	Прочность на сжатие	-84263,59	458210,22	-930797,78	838548,15	-282666,67
6 – ЭД-20, ПЭПА, ВОХП, вибропрес- сование	Плотность	-57,09	293,55	-551,51	463,26	-146,67
	Прочность при изгибе	-15709,19	85767,14	-174981,94	158403,70	-53666,67
	Прочность на сжатие	-69220,83	377576,43	-769416,11	695548,15	-235333,33

Выводы

1. Установлены пределы наполнения эпоксидных композитов на основе асбесто-содержащих промышленных отходов. При увеличении содержания наполнителя происходит резкое снижение прочностных характеристик по причине недоуплотнения, что имеет место в композитах литьевой технологии со значительно меньшим содержанием наполнителя.

2. Выявлены зависимости изменения реологических и физико-механических свойств полимерных композиций и затвердевших материалов в зависимости от степени наполнения и способов формования изделий.

3. Установлены оптимальные значения степеней наполнения для эпоксидных композитов на основе ТДОСП, ВОХП и серпентинита.

4. Выявлены особенности формирования микроструктуры образцов эпоксидных композитов на основе асбестосодержащих отходов в зависимости от вида наполнителя.

5. Рассмотрены особенности деформативных процессов в эпоксидных композитах на основе ТДОСП, ВОХП и серпентинита.

6. Проведена математическая обработка результатов испытаний.

Список литературы

1. Ерофеев, В.Т. Оптимизация содержания компонентов винилэфирных композитов / В.Т. Ерофеев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №1. – С. 22–31.
2. Гаврилов, М.А. Композиционные материалы на основе эпоксидной смолы / М.А. Гаврилов, В.Н. Вернигорова // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №2. – С. 50–56.
3. Systems Approach to the Modeling and Synthesis of Building Materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – №9. – С. 219 – 225.
4. Experience in the Development of Composite Materials: Some Aspects of Mathematical Modeling, Proceedings of the Universities / A. Danilov, I. Garkina // Construction. – 2013. – №8. – С.28.
5. Бобрышев, А.Н. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем / А.Н. Бобрышев, В.Т. Ерофеев, В.Н. Козомазов. – СПб., 2012. – 476 с.
6. Волгина, Е.В. Деформативность винилэфирных композитов / Е.В. Волгина, С.В. Казначеев, В.Т. Ерофеев, В.М. Кретова // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2010. – №6 (45). – С. 82–90.

7. Бобрышев, А.Н. Полимерные композиционные материалы / А.Н. Бобрышев, В.Т. Ерофеев, В.Н. Козомазов. – Саранск, 2013. – 480 с.
8. Ерофеев, В.Т. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидной смолами и аминопроизводными соединениями / В.Т. Ерофеев [и др.]. – М.: АСВ, 2008. – 244 с.
9. Ерофеев, В.Т. Фурфуролацетоновые композиты каркасной структуры / В.Т. Ерофеев [и др.]. – Саранск : Изд-во Мордовского университета, 2008. – 220 с.
10. Баженов, Ю.М. Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности (основы теории, методы расчета и технологическое проектирование) / Ю.М. Баженов, Е.А. Король, В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина. – М.: АСВ, 2008. – 320 с.
11. Ерофеев, В.Т. Дорожные битумо-минеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность) / В.Т. Ерофеев, Ю.М. Баженов, Ю.И. Калгин. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2009. – 276 с.
12. Ерофеев, В.Т. Силикатные и полимерсиликатные композиты каркасной структуры роликового формования / В.Т. Ерофеев [и др.]. – М.: АСВ, 2009. – 158 с.
13. Ерофеев, В.Т. Каркасные строительные композиты: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.Т. Ерофеев; Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. – М., 1993.
14. Эпоксидные лакокрасочные материалы с биоцидной добавкой «Тефлекс» / М.М. Касимкина [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2008. – № 1–2. – С. 77–79.
15. Исследование биологической стойкости эпоксидных покрытий / С.Н. Богатова [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2011. – №3. – С. 42–45.
16. Оптимизация составов биостойких эпоксидных композитов, отверждаемых аминофенольным отвердителем / В.Т. Ерофеев [и др.] // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 4 (26). – С. 218–227.
17. Влияние вида наполнителя на деформативность эпоксидных композитов / А.В. Лазарев [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 3 (48). – С. 176–179.
18. Оптимизация составов наполненных эпоксидных композитов по прочностным показателям / А.В. Лазарев [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – № 2–3. – С. 235–239.
19. Оптимизация содержания диоктилфталата в качестве пластификатора в эпоксидных композитах / В.Т. Ерофеев [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – № 2–3. – С. 253–257.
20. Биостойкость эпоксидных полимербетонов, модифицированных каменноугольной смолой / В.Т. Ерофеев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – № 7–2. – С. 310–325.
21. Исследование физико-механических свойств эпоксидных композитов с фунгицидной добавкой «Тефлекс» / М.М. Касимкина [и др.] // Транспортное строительство. – 2009. – № 2. – С. 29–30.
22. Эпоксидно-битумные композиты / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев, Ю.И. Калгин, Н.И. Мищенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2000. – № 11. – С. 22.
23. Эпоксидно-битумные полимербетоны / В.И. Соломатов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2000. – № 7–8. – С.34.
24. Модифицированные эпокомпозиты специального назначения, стойкие к воздействию экстремальных природных и техногенных факторов / В.А. Худяков [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2006. – 103 с.

References

1. Erofeev, V.T. Optimization of Contents of Polyepiphyric Composites / V.T. Erofeev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2012. – Vol. 1. – P. 22–31.
2. Gavrilov, M.A. Composite Materials Based on Epoxy Resin / M.A. Gavrilov, V.N. Vernigorova // Regional architecture and engineering. – 2013. – Vol. 2. – P. 50–56.

3. Systems Approach to the Modeling and Synthesis of Building Materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – №9. – С. 219–225.
4. Experience in the Development of Composite Materials: Some Aspects of Mathematical Modeling, Proceedings of the Universities / A. Danilov, I. Garkina // Construction. – 2013. – №8. – С.28.
5. Bobryshev, A.N. Physics and Synergetic of Chaotic Disperse Condensed Composite Systems / A.N. Bobryshev, V.T. Erofeev, V.N. Kozomazov. – St. Petersburg, 2012. – 476 p.
6. Volgina, E.V. Deformability of Vinylephyric Composites / E.V. Volgina, S.V. Kaznacheev, V.T. Erofeev, V.M. Kretova // South-West State University Herald. – 2010. – Vol. 6 (45). – P. 82–90.
7. Bobryshev, A.N. Polymer Composite Materials / A.N. Bobryshev, V.T. Erofeev, V.N. Kozomazov. – Saransk, 2013. – 480 p.
8. Erofeev, V.T. Epoxy Polymerconcretes Modified by Oil Bitumen, Coal and Carbamide Resins and Aminoderivative Substances / V.T. Erofeev [etc.]. – M.: ASV, 2008. – 244 p.
9. Erofeev, V.T. Phurphuracetate Composites With Frame Structure / V.T. Erofeev [etc.]. – Saransk, 2008. – 220 p.
10. Bazhenov, Yu.M. Protective Constructions Based on Low Heat-Conductivity Concretes (Basics of Theory, Calculation Methods and Technological Design) / Yu.M. Bazhenov, E.A. Korol, V.T. Erofeev, E.A. Mitina. – M.: ASV, 2008. – 320 p.
11. Erofeev, V.T. Road Bitumen-mineral Materials Based on Modified Bitumen (Technology, Properties, Durability) / V.T. Erofeev, Yu.M. Bazhenov, Yu.I. Kalgin. – Saransk, 2009. – 276 p.
12. Erofeev, V.T. Silicates and Polymersilicates of the Frame Structure of Rolled Formation / V.T. Erofeev [etc.]. – M.: ASV, 2009. – 158 p.
13. Erofeev, V.T. Frame-based Construction Composites. Autorepherate of Dissertation for the Title of Doctor of Technical Sciences / V.T. Erofeev; Mordovia State University of N.P. Ogarev. – M., 1993.
14. Epoxy Lacquer and Paint Materials with “Teflex” Biocide Additive / M.M. Kasimkina [etc.] // Lacquer and Paint Materials and Its Incorporation. – 2008. – Vol. 1–2. – P. 77–79.
15. Research of Biological Durability of Epoxy-based Coatings / S.N. Bogatova [etc.] // Lacquer and Paint Materials and Its Incorporation. – 2011. – Vol. 3. – P. 42–45.
16. Optimization of Compositions of Bioresistant Epoxy Composites, Hardened by Aminophenol Hardener / V.T. Erofeev [etc.] // Kazan State University of Architecture and Construction Herald. – 2013. – Vol. 4 (26). – P. 218–227.
17. Influence of the Type of Filler Upon the Deformability of Epoxy Composites / A.V. Lazarev [etc.] // South-West State University Herald. – 2013. – Vol. 3 (48). – P. 176–179.
18. Optimization of Filled Epoxy Compositions by Strength Values / A.V. Lazarev [etc.] // South-West State University Herald. Series: Technics and Technology. – 2012. – Vol. 2–3. – P. 235–239.
19. Optimization of Content of Dioctylphthalate As a Plastificator in Epoxy Composites / V.T. Erofeev [etc.] // South-West State University Herald. Series: Technics and Technology. – 2012. – Vol. 2–3. – P. 253–257.
20. Bioresistance of Epoxy Polymerconcretes Modified by Coal Resin / V.T. Erofeev [etc.] // Tula State University Herald. Technical Sciences. – 2013. – Vol. 7–2. – P. 310–325.
21. Research of Physical and Mechanical Properties of Epoxy Composites with “Teflex” Fungicide Additive / M.M. Kasimkina [etc.] // Transport Construction. – 2009. – Vol. 2 – P. 29–30.
22. Epoxy and Bitumen Composites / V.I. Solomatov, V.T. Erofeev, Yu.I. Kalgin, N.I. Mishchenko // Industrial and Civilian Construction. – 2000. – Vol. 11. – P. 22.
23. Epoxy and Bitumen Polymerconcretes / V.I. Solomatov [etc.] // Higher Education Institutions Abstracts. – Construction. – 2000. – Vol. 7–8. – P.34.
24. Modified Epoxycomposites of Special Applications, Resistant to Extreme Natural and Technogenic Factors / V.A. Hudjakov [etc.]. – Penza: PSUAC, 2006. – 103 p.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Россия, 420043, ул. Зеленая, д. 1,
тел.: (8435)10-47-27

Рахимова Наилия Равилевна,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные материалы»
E-mail: rahimova.07@list.ru

Рахимов Равиль Зуфарович,
доктор технических наук, профессор,
чл.-корр. РААСН
E-mail: rahimov11@bk.ru

Kazan state University of architecture and construction

Russia, 420043, Kazan, 1, Zelenaya St.,
tel.: (8435)10-47-27

Rakhimova Nailia Ravilevna,
Doctor of Sciences, Professor of the department
«Building materials»
E-mail: rahimova.07@list.ru

Rakhimov Ravil Zufarovich,
Doctor of Sciences, Professor, corresponding
member of the Russian Academy of Architectural
and Construction Sciences
E-mail: rahimov11@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ ДОБАВОК ИЗВЕСТНЯКА НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО

Н.Р. Рахимова, Р.З. Рахимов

Приведены результаты исследований влияния дисперсности известняка на свойства теста и камня композиционного шлакощелочного вяжущего, активированного щелочным отходом ОАО «Нижнекамскнефтехим». Установлена возможность замены шлака молотым известняком до 60 % и увеличения прочностных характеристик камня композиционного шлакощелочного вяжущего до 48,8 %.

Ключевые слова: шлак, известняк, прочность, тепловыделение, шлакощелочное вяжущее

A STUDY OF THE INFLUENCE OF LIMESTONE ADDITIVES DISPERSION ON THE PROPERTIES OF COMPOSITIONAL SLAG- ALKALINE BINDER

N.R. Rakhimova, R.Z. Rakhimov

The results of studies of the influence of ground limestone on the properties of fresh and hardened pastes based on blended alkali-activated slag pastes are given. It is stated the possibility to replace the ground blast furnace slag by limestone by 60 % and increase strength features of hardened pastes up to 48,8 %.

Keywords: slag, limestone, strength, heat generation, alkali-activated slag cement

Введение

В поисках путей устойчивого развития цементной промышленности разрабатываются различные виды альтернативных видов вяжущих, среди которых наиболее привлекательными с экологической и технической точек зрения являются активированные щелочами цементы [1-3]. В настоящее время они образуют довольно обширную группу вяжущих веществ, для получения которых определена большая сырьевая база из природного и техногенного минерального кальциевого и бескальциевого алюмосиликатного сырья. В то же время наиболее перспективными с точки зрения производства в промышленном масштабе признаны доменный гранулированный шлак и золы. Это связано с тем, что в отличие от активированных глиен бетоны на их основе обеспечивают сочетание низкой водопотребности и приемлемых реологических свойств с высокой механической прочностью. Шлаки и золы требуемого качества не являются повсеместно распространенным и доступным сырьем. Поэтому одним из направлений развития активированных щелочами цементов является введение минераль-

ных добавок с получением композиционных вяжущих [5,6]. Другим препятствием на пути коммерциализации активированных щелочами цементов является экологический аспект получения и дороговизна щелочных компонентов активированных щелочами вяжущих – жидкого стекла, едкого натра и др. В этом отношении актуальны поиск и исследование в качестве активаторов активированных щелочами цементов крупнотоннажных щелочесодержащих отходов [7].

Одной из широко используемых добавок благодаря химико-минералогическому составу и распространенности в технологии композиционных портландцементов является молотый известняк. В Европе композиционные портландцементы с добавкой молотого известняка являются наиболее широко применяемыми видами вяжущих. Согласно EN 197-1 в цементах СЕМ II/A-L и СЕМ II/B-L содержание известняка составляет 20 и 35 %, соответственно. Многочисленными исследованиями показана эффективность использования молотого известняка и в качестве добавки к активированным щелочами вяжущим [8-11], включая шлакощелочные (ШЩВ) [12-16]. Следует отметить, что свойства композиционных вяжущих определяются большим числом факторов, включающих факторы влияния матрицы, минеральных добавок и технологические факторы [17]. Влияние дисперсности минеральных добавок на свойства композиционных шлакощелочных вяжущих (КШЩВ) с добавкой молотого известняка в упомянутых работах исследовано недостаточно полно.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния удельной поверхности известняка на температуру гидратации и прочность композиционного шлакощелочного вяжущего, активированного щелочным отходом ОАО «Нижекамскнефтехим».

Объекты и методы исследований

Для приготовления образцов использовались доменный гранулированный шлак Челябинского металлургического комбината (ЧМК) и известняк Владимирского месторождения. Шлак ЧМК размалывался до удельной поверхности 300 м²/кг на лабораторной планетарной мельнице МПЛ-1, а известняк – до удельной поверхности 200-600 м²/кг. Химический состав исходных материалов представлен в табл.1. Минеральный состав известняка – кальцит 100 %.

Т а б л и ц а 1
Химический состав исходных материалов

Материал	Содержание, %												
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	CO ₂	ппп
Шлак ЧМК	37,49	36,22	11,58	8,61	0,50	0,16	1,80	0,64	0,95	0,01	2,00	-	-
Известняк	0,47	55,06	0,07	0,49	-	0,05	0,01	0,03	0,01	0,02	-	43,66	43,83

Гранулометрический состав известняка, приведенный в табл.2, определялся с помощью анализатора размера частиц Fritsch Particle Sizer ANALYSETTE 22.

Т а б л и ц а 2
Гранулометрический состав известняка при удельной поверхности 200, 400, 600 м²/кг

Удельная поверхность, м ² /кг	Содержание фракций размером (%)									Содержание фракции < 5 мкм (%)	Содержание фракции < 20 мкм (%)
	≤1	1-5	5-10	10-20	20-40	40-80	80-100	100-150	≥150		
200	0	18,45	22,62	15,16	5,10	10,47	5,02	7,83	15,34	18,45	56,23
400	2,83	36,81	25,92	12,22	6,35	10,41	3,65	1,34	0,47	39,64	77,78
600	25,03	36,58	14,82	7,65	5,21	7,88	2,33	0,51	0	61,61	84,08

В качестве щелочного активатора использовался водный раствор отхода ОАО «Нижнекамскнефтехим» плотностью $1,2 \text{ г/см}^3$, состав которого приведен в табл.3.

Т а б л и ц а 3

Состав щелочного отхода ОАО «Нижнекамскнефтехим»

Содержание (%)						
Na_2MoO_4	Na_2SiO_3	Na_2CrO_4	H_2O	NaOH	Na_2CO_3	Механические примеси
1,6	1,05	0,92	1,58	2,65	91,4	0,8

Нормальная густота теста ШЩЦВ и КШЩЦВ определялась на приборе Вика. Температура гидратации – на калориметре «Macesta». Прочность при сжатии образцов устанавливалась по результатам испытания образцов камня ШЩЦВ и КШЩЦВ размером $2 \times 2 \times 2 \text{ см}$ в возрасте 28 сут нормально-влажностного твердения.

3. Результаты и обсуждение

Нормальная густота теста КШЩЦВ при введении известняка в количестве до 70 % независимо от его концентрации и удельной поверхности существенно не изменялась и составляла 25-26 %. Эти результаты согласуются с данными исследования влияния известняка на водопотребность теста как для вяжущих на основе портландцемента [18], так и для активированных щелочами вяжущих [19].

Зависимости прочности при сжатии камня КШЩЦВ в возрасте 28 сут приведены на рис.1.

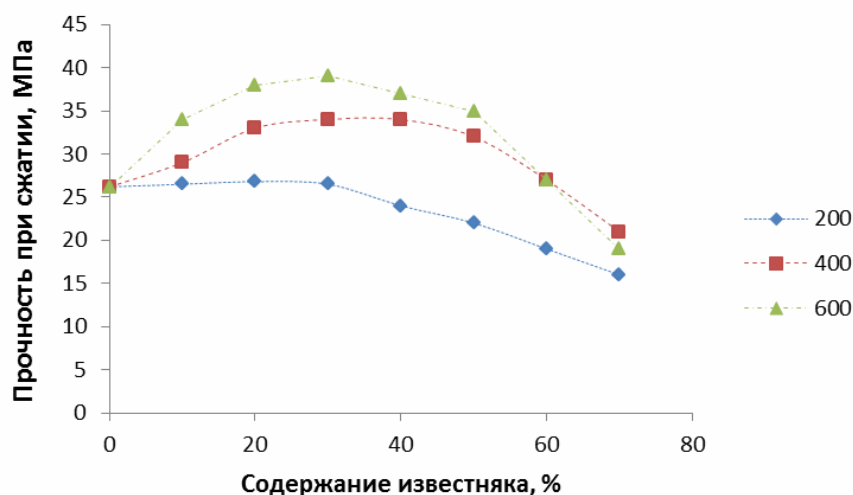


Рис.1. Влияние добавки известняка на прочность при сжатии камня КШЩЦВ в возрасте 28 сут в зависимости от содержания и тонкости помола известняка

Представленные данные показывают положительное влияние добавок молотого известняка на прочность, а также возможность замены шлака известняком до 60 % без снижения прочности. Однако повышение прочности в значительной степени зависит от удельной поверхности известняка. Так, при удельной поверхности $200 \text{ м}^2/\text{кг}$ известняк не снижает прочности при сжатии камня КШЩЦВ при содержании до 30 %. Увеличение удельной поверхности до $400\text{-}600 \text{ м}^2/\text{кг}$ при содержании известняка 30-40 % повышает прочность камня на 29,7-48,8 %, соответственно.

Результаты проведенных ранее исследований влияния добавок известняка на состав продуктов твердения активированных щелочами цементов [13,19] показывают, что известняк применительно к активированным щелочами вяжущим следует рассматривать как «физически активную» минеральную добавку, которая не образует соединений с вяжущими свойствами, но влияет на структуру и свойства камня композиционных вяжущих [17]. В связи с этим результаты исследований целесообразно сравнивать с результатами испытаний, выполненных для других «физически активных» добавок, например молотого кварцевого песка [20]. Введение молотого кварцевого

песка при удельной поверхности 500-800 м²/кг повышало прочность камня нормально-влажностного твердения композиционных шлакощелочных вяжущих, активированных раствором соды, до 14 % при содержании до 30 %. Большая эффективность известняка, по всей вероятности, обусловлена меньшей твердостью и, как следствие, большими размалываемостью и содержанием тонкодисперсных частиц. При помолке кварцевого песка с 200 до 500-800 м²/кг содержание частиц размером менее 5 мкм повышается более чем на 30 % [20]. Как видно из данных табл.2, при увеличении удельной поверхности известняка с 200 до 400-600 м²/кг содержание частиц размером менее 5 мкм возрастает в 2,1-3,3 раза, соответственно. В ходе ранее проведенных исследований зависимости свойств от гранулометрического состава шлака [21] было установлено, что при удельной поверхности 300 м²/кг гранулометрический состав шлака неоптимален и может быть улучшен введением частиц размером менее 20 мкм. Результаты наших исследований согласуются с исследованием Gao [19], показавшим совершенствование прочностных характеристик золошлакощелочного вяжущего при введении 30 % известняка с размером частиц менее 10,12 мкм. Помимо улучшения гранулометрического состава композиционного вяжущего и, как следствие, повышения плотности и прочности камня КШЩВ без увеличения водопотребности, в упрочняющий эффект вносит свой вклад химико-минералогическое средство добавки к одному из продуктов твердения ШЩВ, активированного содой, – кальциту. В работе [19] отмечается, что молотый известняк ускоряет процессы структурообразования композиционной вяжущей системы. При этом, как известно, интенсификация эпитахсиальной кристаллизации связующего, эффективность наполнителей как подложек направленного кристаллообразования увеличивается по мере повышения их дисперсности, структурно-геометрического соответствия, кристаллохимической близости к связующему [22]. Результаты калориметрических исследований, приведенные на рис.2, показали, что скорость образования продуктов реакции в системе ШЩВ – молотый известняк возрастает с увеличением дисперсности известняка.

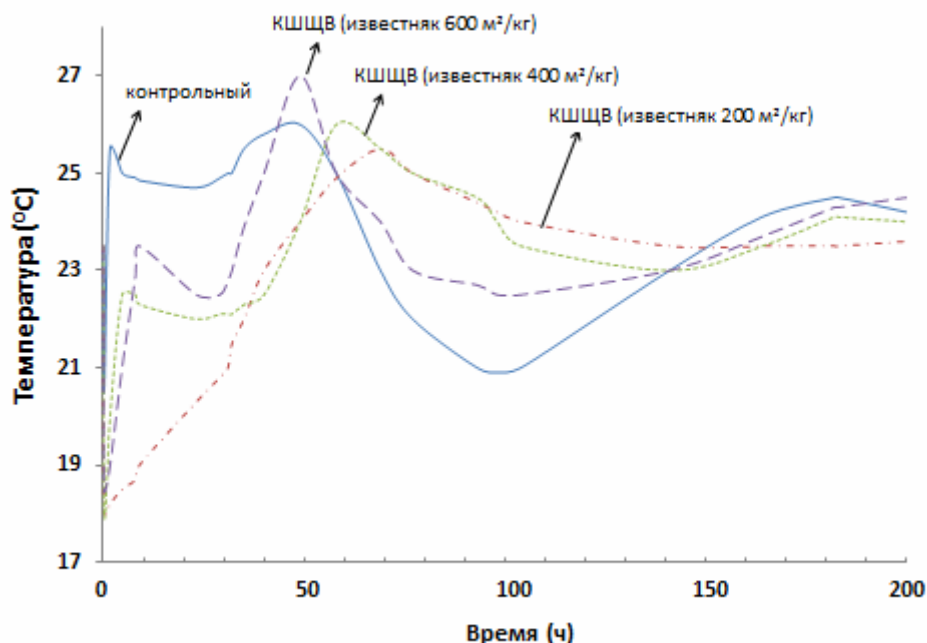


Рис.2. Кинетика изменения температуры гидратации ШЩВ и КШЩВ в зависимости от удельной поверхности известняка

Анализ кинетики изменения температуры показывает, что на начальном этапе на температурной кривой фиксируется 2 пика – первый 25⁰С на 100 мин, второй на 49 ч при 26⁰С; третий появляется в более поздние сроки – 24,5⁰С на 183 ч. Наши результаты в части идентификации 2 начальных пиков и уровня температуры

согласуются с работой Shi [23], в которой отмечается, что у активированных содой ШЩВ первый пик обусловлен смачиванием и началом растворения частиц шлака, второй – началом образования кальцита CaCO_3 , а третий – образованием CaCO_3 и началом формирования С-S-H. С введением известняка с удельной поверхностью $200 \text{ м}^2/\text{кг}$ на температурной кривой появляется только один пик на 29 ч и при более низкой температуре по сравнению с контрольным составом.

Заключение

1. Введение добавки известняка с удельной поверхностью $200\text{-}600 \text{ м}^2/\text{кг}$ в количестве до 60 % не изменяет водопотребность теста композиционного шлакощелочного вяжущего.

2. В зависимости от удельной поверхности известняк может использоваться для замены шлака в количестве до 60 % и повышения прочности до 48,8 % композиционного шлакощелочного вяжущего.

3. Молотый известняк при содержании частиц размером $<5 \text{ мкм}$ более 40 % ускоряет процессы структурообразования и повышает прочностные характеристики композиционного шлакощелочного вяжущего.

Список литературы

1. Provis, J.L. Alkali activated materials, state-of-the-art report / J.L. Provis, J.S.J. Van Deventer. – RILEM, TC 224-AAM, Springer, 2014. – 388 p.
2. Pacheco-Torgal, F. Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes / F. Pacheco-Torgal [etc.]. – Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2014.
3. Provis, J.L. Advances in understanding alkali-activated materials / J.L. Provis, A. Palomo, C. Shi // Cement and Concrete Research. – 2015. – V.78. – P.110–25.
4. Provis, J.L. Geopolymers and related alkali-activated materials / J.L. Provis, S.A.Bernal // Annual Review of Materials Research. – 2014. – V.44. – P.299–327.
5. Rakhimova, N.R. Characterization of ground hydrated Portland cement-based mortar as an additive to alkali-activated slag cement / N.R. Rakhimova, R.Z. Rakhimov // Cement and Concrete Composites. – 2015. – V.57. – P.55–63.
6. Rakhimova, N.R. Alkali-activated cements and mortars based on blast furnace slag and red clay brick waste / N.R. Rakhimova, R.Z. Rakhimov // Materials & Design. – 2015. – V.85(11). – P.324–331.
7. Рахимова, Н.Р. Использование отходов ОАО «Нижнекамкнефтехим» для получения активированных щелочами цементов / Н.Р. Рахимова, Р.З. Рахимов, Р.Ф. Хамитова // Экология и промышленность России. – 2015. – № 1. – С.34–37.
8. Yip, C.K. Carbonate mineral addition to metakaolin-based geopolymers / C.K. Yip, J.L. Provis, G.C. Lukey, J.S.J. Deventer // Cement and Concrete Composites. – 2008. – V.30(3). – P.979–85.
9. Yip, C.K. Carbonate mineral addition to metakaolin-based geopolymers / C.K. Yip, J.L. Provis, G.C. Lukey, J.S.J. Deventer // Cement and Concrete Composites. – 2008. – V.30(3). – P.979–85.
10. Avila-López, U. Investigation of novel waste glass and limestone binders using statistical methods / U. Avila-López, J.M. Almanza-Robles, J.I. Escalante-García // Construction and Building Materials. – 2015. – V.82 (2015). – P.296–303.
11. Boonjaeng, S. Lime-calcined clay materials with alkaline activation: Phase development and reaction transition zone / S. Boonjaeng, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa // Applied Clay Science. – 2014. – V.95. – P.357–64.
12. Хвастунов, В.Л. Экспериментально-теоретические основы получения композиционных вяжущих и строительных материалов из шлаков и высокодисперсных пород: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.Л. Хвастунов. – Пенза, 2005. – 48 с.
13. Sakulich, A.R. Mechanical and microstructural characterization of an alkali-activated slag/limestone fine aggregate concrete / A.R. Sakulich, E. Anderson, C. Schauer, M.W. Bar-soum // Construction and Building Materials. – 2009. – V.23. – P.2951–59.

14. Bilek, V. Slag alkaline concrete with mineral admixtures. Proceedings of XIII International // Congress on the Chemistry of Cement. – Madrid, 3-8 July 2011. – P. 190.
15. Moseson, A.J. High volume limestone alkali-activated cement developed by design of experiment / A.J. Moseson, D.E. Moseson, M.W. Barsoum // Cement and Concrete Composites. – 2012. – V.34(3). – P.328–36.
16. Gao, X. Properties of alkali activated slag–fly ash blends with limestone addition / X. Gao, Q.L. Yu, H.J.H. Brouwers // Cement and Concrete Composites. – 2015. – V.59. – P.119–28.
17. Рахимова, Н.Р. Шлакощелочные вяжущие и бетоны с силикатными и алюмосиликатными минеральными добавками: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н.Р. Рахимова. – Казань, 2010. – 38 с.
18. Tsivilis, S. A study on the parameters affecting the properties of Portland limestone cements / S. Tsivilis, E. Chaniotakis, E. Badogiannis, G. Pahoulasa, A. Ilias // Cement and Concrete Composites. 1999. – V.21. – P.107–16.
19. Gao, X. Properties of alkali activated slag–fly ash blends with limestone addition / X. Gao, Q.L. Yu, H.J.H. Brouwers // Cement and Concrete Composites. – 2015. – V.59. – P.119–28.
20. Rakhimova, N.R. Properties and microstructural characteristics of alkali-activated slag-blended cements / N.R. Rakhimova // Romanian Journal of Materials. – 2015. – V.45(2). – P.105–16.
21. Rakhimova, N.R. Properties of alkali-activated slag cements / N.R.Rakhimova, R.Z.Rakhimov // Zement-Kalk-Gips. – 2012. – V.11. – P.32–42.
22. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур / П.А.Ребиндер. – М.: Наука, 1968. – С.56–90.
23. Shi, C. A calorimetric study of early hydration of alkali-slag cements / C. Shi, R.L. Day // Cement and Concrete Research. – 1995. – V.25(6). – P.1333–46.

References

1. Provis, J.L. Alkali activated materials, state-of-the-art report / J.L. Provis, J.S.J. Van Deventer. – RILEM, TC 224-AAM, Springer, 2014. – 388 p.
2. Pacheco-Torgal, F. Handbook of alkali-activated cements, mortars and concretes / F. Pacheco-Torgal [etc.]. – Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2014.
3. Provis, J.L. Advances in understanding alkali-activated materials / J.L. Provis, A. Palomo, C. Shi // Cement and Concrete Research. – 2015. – V.78. – P.110–25.
4. Provis, J.L. Geopolymers and related alkali-activated materials / J.L. Provis, S.A.Bernal // Annual Review of Materials Research. – 2014. – V.44. – P.299–327.
5. Rakhimova, N.R. Characterization of ground hydrated Portland cement-based mortar as an additive to alkali-activated slag cement / N.R. Rakhimova, R.Z. Rakhimov // Cement and Concrete Composites. – 2015. – V.57. – P.55–63.
6. Rakhimova, N.R. Alkali-activated cements and mortars based on blast furnace slag and red clay brick waste / N.R. Rakhimova, R.Z. Rakhimov // Materials & Design. – 2015. – V.85(11). – P.324–331.
7. Rahimova, N.R. The use of waste of JSC "Nizhnekamskneftehim" to obtain alkali-activated cements / N.R. Rahimova, R.Z. Rahimov, R.F. Hamitova // Ecology and industry of Russia. – 2015. – №1. – P.34–37.
8. Yip, C.K. Carbonate mineral addition to metakaolin-based geopolymers / C.K. Yip, J.L. Provis, G.C. Lukey, J.S.J. Deventer // Cement and Concrete Composites. – 2008. – V.30(3). – P.979–85.
9. Yip, C.K. Carbonate mineral addition to metakaolin-based geopolymers / C.K. Yip, J.L. Provis, G.C. Lukey, J.S.J. Deventer // Cement and Concrete Composites. – 2008. – V.30(3). – P.979–85.
10. Avila-López, U. Investigation of novel waste glass and limestone binders using statistical methods / U. Avila-López, J.M. Almanza-Robles, J.I. Escalante-García // Construction and Building Materials. – 2015. – V.82 (2015). – P.296–303.

11. Boonjaeng, S. Lime-calcined clay materials with alkaline activation: Phase development and reaction transition zone / S. Boonjaeng, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa // *Applied Clay Science*. – 2014. – V.95. – P.357–64.
12. Hvastunov, V.L. Experimental and theoretical bases of receiving composite binders and building materials from slag and fine rocks: abstract. dis. ... d-r of Sciences / V.L. Hvastunov. – Penza, 2005. – 48 p.
13. Sakulich, A.R. Mechanical and microstructural characterization of an alkali-activated slag/limestone fine aggregate concrete / A.R. Sakulich, E. Anderson, C. Schauer, M.W. Barsoum // *Construction and Building Materials*. – 2009. – V.23. – P.2951–59.
14. Bilek, V. Slag alkaline concrete with mineral admixtures. Proceedings of XIII International // Congress on the Chemistry of Cement. – Madrid, 3-8 July 2011. – P. 190.
15. Moseson, A.J. High volume limestone alkali-activated cement developed by design of experiment / A.J. Moseson, D.E. Moseson, M.W. Barsoum // *Cement and Concrete Composites*. – 2012. – V.34(3). – P.328–36.
16. Gao, X. Properties of alkali activated slag–fly ash blends with limestone addition / X. Gao, Q.L. Yu, H.J.H. Brouwers // *Cement and Concrete Composites*. – 2015. – V.59. – P.119–28.
17. Rahimova N.R. Slag-alkaline binders and concrete with silicate and aluminosilicate minerals: author. dis. ... d-r of Sciences / N.R. Rahimova. – Kazan, 2010. – 38 p.
18. Tsivilis, S. A study on the parameters affecting the properties of Portland limestone cements / S. Tsivilis, E. Chaniotakis, E. Badogiannis, G. Pahoulasa, A. Ilias // *Cement and Concrete Composites*. 1999. – V.21. – P.107–16.
19. Gao, X. Properties of alkali activated slag–fly ash blends with limestone addition / X. Gao, Q.L. Yu, H.J.H. Brouwers // *Cement and Concrete Composites*. – 2015. – V.59. – P.119–28.
20. Rakhimova, N.R. Properties and microstructural characteristics of alkali-activated slag-blended cements / N.R. Rakhimova // *Romanian Journal of Materials*. – 2015. – V.45(2). – P.105–16.
21. Rakhimova, N.R. Properties of alkali-activated slag cements / N.R.Rakhimova, R.Z.Rakhimov // *Zement-Kalk-Gips*. – 2012. – V.11. – P.32–42.
22. Rebinder, P.A. Physico-chemical mechanics of disperse structures / P.A.Rebinder. – M.: Nauka, 1968. – P.56–90.
23. Shi C. A calorimetric study of early hydration of alkali-slag cements / C. Shi, R.L. Day // *Cement and Concrete Research*. – 1995. – V.25(6). – P.1333–46.

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

РАЗРАБОТКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ КАК СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Предлагаются методологические принципы разработки строительных материалов на основе их представления как сложных систем с соответствующими системными атрибутами. Эффективность подхода подтвердилась при проектировании ряда композитов с заданными структурой и свойствами. Приводится пример реализации.

Ключевые слова: строительные материалы, сложные системы, иерархическая структура, системная модель, частные модели, оценка качества

DEVELOPMENT OF BUILDING MATERIALS AS COMPLEX SYSTEMS

A.M. Danilov, I.A. Garkina

Methodological principles for the development of building materials on the basis of their representation as a complex system with the relevant system attributes are provided. The effectiveness of the approach was confirmed in the design of a number of composites with desired structure and properties. An example of implementation is given.

Keywords: building materials, complex systems, hierarchical structure, system model, private models, quality assessment

Предлагаемый подход к созданию строительных материалов основан на их представлении как систем [1, 2], что позволяет при анализе и синтезе в полной мере использовать методы системного анализа. Предполагается:

- целостное видение материала как сложного объекта;
- наличие доминирующей роли целого над частным, сложного – над простым;
- невозможность познания главных свойств материала на основе изучения *только* характеристик его элементов (свойства системы не сводятся к сумме свойств ее элементов);
- количество свойств материала больше, чем сумма свойств элементов (отношения между элементами порождают новое *особое* качество целостности – системное, *интегративное*); система представляется как совокупность элементов, соединенных отношениями, порождающими интегративное качество; *при отсутствии интегративного качества сложный объект не является системой.*

Строительные материалы обладают соответствующими системными атрибутами и их можно рассматривать как системы. Легко обнаруживаются противоречивость и парадоксальность при изучении строительных материалов как систем. Парадокс целостности состоит в том, что целостное описание строительного материала возможно лишь при «целостном» его разбиении на части (при описании как некоторой целостности); познание строительного материала как целостности невозможно без анализа ее частей. Что касается парадокса иерархичности, то описание строительного материала как системы возможно только при наличии его описания как элемента надсистемы (более широкой системы) и обратно, описание строительного материала как элемента надсистемы возможно только при наличии описания собственно строительного материала.

Возможны два способа декомпозиции (разбиения) целостной системы «Строительный материал». При первом способе после разбиения целостной системы получаются элементы (части), которые не несут на себе целостные свойства исходной системы. Так, при разработке бетона (системы) естественным представляется разбиение системы на отдельные входящие в него компоненты. Однако такое представление бетона не позволяет с необходимой достоверностью предсказать его свойства на основе изучения свойств компонентов (элементов). Такая декомпозиция практической ценности не имеет. В известной мере это справедливо и для декомпозиции материала по масштабному структурному признаку (макро- и микроструктура в полиструктурной теории). Второй способ предполагает выделение таких частей (элементарные образования), которые в специфической форме сохраняют целостные свойства исследуемого материала («целостное» разбиение). Так, в качестве элементарного образования служит образец материала, свойства которого определяются как свойствами составляющих компонентов, так и присущими материалу (системе) интегративными свойствами.

Без целостного системного подхода невозможно изучение материала с целью прогноза возможности его практической эксплуатации. Однако даже интегративное свойство системы (как часть структуры) на качественном уровне может изучаться по существу вне системы (так, смачиваемость поверхности заполнителя вяжущим определяется в отдельном эксперименте). Полученные результаты могут служить качественным описанием процесса структурообразования, но не позволяют осуществить целостное описание всей системы.

Отличительной особенностью композиционных материалов от механической смеси компонентов (свойства которой определяются как сумма свойств компонентов) является наличие границы раздела фаз, определяющей интенсивность процессов структурообразования и свойства материала (системы). На границе раздела фаз формируется контактный слой, обеспечивающий сцепление компонентов (адгезионная прочность; новое интегративное свойство, которым не обладают входящие в систему элементы). Объединение компонентов приводит к образованию на границе раздела фаз слоев с измененными свойствами, оказывающими влияние на процессы формирования свойств системы, отличных от характеристик компонентов (например, процессы твердения цемента в большом объеме отличаются от процессов в тонких слоях на границе раздела фаз). Как видим, при изучении строительных материалов налицо наличие парадокса целостности. С одной стороны, оценку и анализ строительных материалов можно производить лишь на основе рассмотрения материала как целостной и единой системы; с другой стороны – изучение материала невозможно без анализа ее частей. Именно поэтому исследования структуры и свойств материала должны осуществляться и на основе изготовления опытных образцов с изучением межэлементных связей при сохранении целостности системы (например, так изучаются кинетические процессы формирования физико-механических характеристик материала). Качество строительных материалов оценивается с учетом их места как элемента в иерархической структуре целостной надсистемы. В соответствии с организмическим принципом критерий качества подсистемы должен быть частью общего критерия качества системы, определяемого ее интегративными свойствами.

При изучении строительных материалов сложные явления, процессы расчленяются на множество составных элементов (системы различной природы) и определяются *системообразующие межэлементные связи и отношения*, придающие целостность. Возможен и *другой способ выделения системы – это представление не всего исследуемого объекта, явления или процесса как системы, а только его отдельных сторон*, аспектов, граней, разрезов, являющихся *существенными для исследуемой проблемы*. Здесь каждая система в одном и том же объекте (строительный материал) выражает лишь определенную грань его сущности. Такое *применение понятия системы позволяет досконально и целно изучать разные аспекты или грани единого объекта* (например, поверхностные явления: смачиваемость, капиллярные процессы и др.). Отметим, во многих случаях изменение любого элемента системы оказывает воздействие на другие ее элементы и ведет к изменению всей системы. Поэтому *часто невозможно разложить строительный материал как целостную систему на отдельные компоненты без потерь ее интегративных свойств*.

Далее. Сложность и многообразие процессов функционирования реальных систем, в том числе строительных материалов, не позволяют получить *абсолютно адекватные математические модели*. Математическая модель, описывающая формализованный процесс функционирования системы, в состоянии охватить только основные, характерные закономерности. Подразумевается, что если задача сформулирована на математическом языке, то она полностью переходит в сферу математики, разработанной и строго обоснованной науки, так что за дальнейшую судьбу задачи волноваться не нужно, если только она не окажется непомерно трудной. Однако это не всегда справедливо. Нет особых путей в приложениях математики, позволяющих избежать кропотливого освоения, развития и применения современных математических методов, необходимых для того или иного исследования. С общетеоретической точки зрения моделирование есть *метод научного познания, а с практической – технология решения прикладных научно-технических задач*. Математическое моделирование, а также связанный с ним компьютерный эксперимент, практически не заменимы, если натурный эксперимент невозможен или затруднен.

Отметим, идентификационный подход еще окончательно не оформился в связи с размытостью представлений об идентификации как об особом типе человеческой деятельности. Процесс познания действительности при создании реальных систем не всегда можно научно объяснить. Пока в нём *доминирует математический уровень строгости, и математический язык рассматривается как наилучшее средство представления системы*. В большинстве работ ограничиваются лишь постановкой и исследованием математических задач и не затрагиваются содержательные и человеческие аспекты практической идентификации. Заметим, *задачу идентификации характеристик системы можно рассматривать как дуальную (сопряженную) по отношению к задаче управления системой. Нельзя управлять системой, если она не идентифицирована либо заранее, либо в процессе управления. Структурная идентификация состоит в определении вида математической модели системы (общая задача идентификации)*. После того как математическая модель системы определена, проводят *параметрическую идентификацию (частная задача идентификации)*, заключающуюся в определении *числовых параметров* математической модели, при которых решение задачи соответствовало бы экспериментальным данным (*найденные значения констант не должны противоречить физическому смыслу и теоретическим соображениям*). Роль структуры модели трудно переоценить, *неудачный выбор ее сводит на нет и все результаты параметрической идентификации*. Модели могут быть в разной степени формализованными, но все они должны связывать наблюдения в некоторую общую картину. *Решение задачи построения математических моделей динамических систем по данным наблюдений за их поведением и составляет предмет теории идентификации*. При этом *совокупность предполагаемых связей между наблюдаемыми сигналами и является моделью в широком смысле*. Вид модели может быть различным (разная форма и степень математической детализации или вообще математический язык не используется). *Выбор метода идентификации определяется*

неоднозначно, ибо в самой постановке задачи заранее предполагаются неопределенности (неполнота знаний об объекте, ограничения в наблюдениях объекта во времени, неточность измерения сигналов на входе и на выходе объекта и т.п.).

Создание адекватной модели возможно лишь в случае, когда свойства и взаимосвязи моделируемого объекта в достаточной степени изучены. Налицо парадокс: если объект изучен, зачем его моделировать; а если объект не изучен, то как можно построить адекватную модель? Традиционно этот парадокс разрешается тем, что *модель не обосновывается, а постулируется на основе эмпирических сведений, которыми располагает исследователь.*

Адекватность системной модели объекту изучения нельзя доказать: модель может быть принята либо отвергнута на том основании, что получаемые с ее помощью оценки и выводы противоречат наблюдаемым фактам. *Системная модель всегда будет отличаться от оригинала;* можно говорить об асимптотическом приближении к нему при выполнении определенных условий для каждой практической задачи. *Адекватность достигается сужением сферы использования данной системной модели, ограниченностью ее практической применимости;* она повышается за счет модельных экспериментов: появляются новые знания интуитивного характера, которые могут использоваться для настройки свойств модели с учетом свойств изучаемого объекта. *Процесс моделирования позволяет глубже проникнуть в сущность объекта-оригинала, а модельные исследования приводят к открытию новых свойств и закономерностей функционирования изучаемой системы.*

Системные модельные исследования итеративны: невозможно получить исчерпывающую характеристику изучаемого объекта. Задача состоит в том, насколько качественно данный уровень познания позволяет разрешить поставленную проблему. На основе *качественных критериев* модель оценивается с точки зрения ее понятности, простоты использования, тестируемости, возможности развития, а также применения в других проблемных областях. *Критерий является количественным, когда его значения имеет смысл сравнивать.* Промежуточное положение между количественными и качественными критериями занимают *критерии с балльными шкалами.* *При анализе и решении многокритериальной задачи оптимизации необходимо применять только те определения и понятия, методы и процедуры, которые приводят к получению адекватных выводов и рекомендаций.*

Системные исследования являются симбиозом теоретических модельных экспериментов с наблюдениями, эмпирическими исследованиями, натурными (лабораторными) экспериментами. Ведущая роль моделирования состоит в том, что модель должна предшествовать натурным экспериментам и указывать направления сбора информации в процессе наблюдений. В то же время результаты модельных исследований нуждаются в фактических исходных данных и требуют экспериментального подтверждения. Именно системный подход позволяет разобраться в связях между отдельными фактами и на более высоком уровне осуществлять исследования. Теоретическое значение системного подхода состоит в определении общих закономерностей, изоморфных для различных классов (или явлений); наиболее важным является *изоморфность системообразующего фактора.*

Указанный подход эффективно использовался при разработке материалов специального назначения как *сложных систем.* При когнитивном моделировании использовался принцип *моделируемости:* композиционный материал (сложная система) представлялся как конечное множество моделей, отражающих определенную грань сущности системы [3]. *Каждое из свойств материала исследовалось по одной или нескольким упрощенным (узко ориентированным) моделям.* Нарращивание множества упрощенных моделей позволяло выявить новые свойства часто и без построения *обобщающей модели.* Композиционный материал *определялся как результат взаимодействия упрощенных моделей.*

Так, при разработке радиационно-защитных материалов [1] использовались полученные методами математического планирования эксперимента для указанных

материалов зависимости пористости q_1 , %, и прочности на сжатие q_2 , МПа, от объемных долей $x_1 \in [0,5; 0,6]$, $x_2 \in [0,35; 0,4]$ заполнителя и наполнителя:

$$q_1(x_1, x_2) = 196,9 - 1217x_1 + 623,6x_2 - 1064x_1x_2 + 1532x_1^2;$$

$$q_2(x_1, x_2) = -305,3 + 1188x_1 + 57,20x_2 - 1148x_1^2.$$

(оказалось возможным исключить из рассмотрения плотность $q_3(x_1, x_2)$).

Оптимизация методом последовательных уступок показала, что минимальное значение пористости достигается в точке $M_1(0,519; 0,35)$, для которой $q_1(0,519; 0,35) = 2,735$ %, а максимум прочности соответствует точке $M_2(0,518; 0,4)$, для которой $q_2(0,518; 0,4) = 25,14$ МПа. В дальнейшем при синтезе материала исходили из условий $q_1 \leq 4\%$, $q_2 \geq 22$ МПа.

Эффективность использования приведенных методов подтвердилась и при оптимизации ряда других композиционных материалов и систем со сложной иерархической структурой критериев качества [1, 4, 5].

Список литературы

1. 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.
2. Budylna, E.A. Control of multiobjective complex systems / E.A. Budylna, I.A. Garkina, A.M. Danilov // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – №. 10. – P. 441–445. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5276>.
3. Гарькина, И.А. Опыт разработки композиционных материалов: некоторые аспекты математического моделирования / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Известия ВУЗов. Строительство. – 2013. – №8 (656). – С.28–33.
4. Danilov, A.M. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015 – Vol. 8.– №. 5. – P. 219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>.
5. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials. Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – №. 10. – P. 421–425 – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5258>.

References

1. Systems analysis in building materials: monograph / Yu.M. Bazhenov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev. – M.: Moscow State University of Civil Engineering: Library of scientific developments and projects, 2012. – 432 p.
2. Budylna, E.A. Control of multiobjective complex systems / E.A. Budylna, I.A. Garkina, A.M. Danilov // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – №. 10. – P. 441–445. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5276>.
3. Garkina, I.A. Experience in the development of composite materials: some aspects of mathematical modeling / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Proceedings of the universities. Construction. – 2013. – №8 (656). – P.28–33.
4. Danilov, A.M. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015 – Vol. 8.– №. 5 – P. 219-225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>.
5. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials. Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – №. 10. – P. 421–425 – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5258>.

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

Снадин Евгений Валерьевич,
аспирант кафедры «Технологии
строительных материалов и
деревообработки»
E-mail: techbeton@pguas.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Snadin Evgeny Valerevich,
Postgraduate of the department «Technology
of building materials and wood processing»
E-mail: techbeton@pguas.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ КРЕМНИСТОЙ КЕРАМИКИ

В.А. Береговой, Е.В. Снадин

Исследованы процессы порообразования и пластификации сырьевых смесей для получения легкой кремнистой керамики. Установлены закономерности изменения скорости разложения газообразующего вещества и общего объема газа в зависимости от вида и количества катализатора. Определен перечень веществ, эффективно вспенивающих и разжижающих кремнеземсодержащие керамические шликеры.

Ключевые слова: кремнистая керамика, газообразователи, реологические свойства, модифицирующие добавки

FORMATION OF CELLULAR STRUCTURE OF SILICEOUS CERAMICS

V.A. Beregovoy, E.V. Snadin

The processes of cavitation and plasticization in relation to raw mixes for receiving cellular ceramics are given researched. Consistent patterns of gas-forming substance decomposition speed change and the total amount of gas depending on the type and quantity of the catalyst are determined. The list of substances effectively gas-forming and diluting silica-containing raw mass is defined.

Keywords: siliceous ceramics, gas-forming substances, rheological properties, modifying additives

Показатели свойств пористой керамики обуславливаются совершенством пористой структуры, изначально создаваемой в ячеистом сырце и фиксируемой при последующем обжиге. При правильно разработанной технологии макроструктура материала представляет собой равномерно распределенные замкнутые сферические полидисперсные поры, равномерно распределенные в керамической матрице [1].

Формирование структуры зависит от вида, количества и равномерности распределения газообразователя в исходной сырьевой массе, а также от соответствия ее реотехнологических свойств скорости процесса разложения порообразующего вещества. В зависимости от агрегатного состояния используемого газообразователя однородность реакционной смеси можно повысить путем уменьшения размера частиц или концентрации раствора.

Цель работы заключалась в обосновании выбора разжижающих и газообразующих веществ для получения ячеистой керамики, вырабатываемой из природного

кремнеземистого сырья. Эффективность применения этого вида сырья в технологии легких керамических изделий была показана в ряде опубликованных работ [2, 3].

Реотехнологические свойства сырьевого шликера оказывают значительное влияние на качество ячеистой структуры, а также на эффективность использования наиболее дорогого компонента сырьевой смеси – газообразователя. Условием создания оптимальной макроструктуры сырца является соответствие между подъемной силой пузырьков газа и вязким сопротивлением их всплытию со стороны поризуемой массы.

Вязкость шликера можно регулировать двумя способами – изменением расхода воды или введением добавок. Первый способ негативно влияет на качество получаемой керамики; поэтому для управления реологическими показателями суспензий использовали химическое модифицирование природных кремнистых опок разжижающими и пластифицирующими добавками.

В качестве разжижающих веществ были опробованы неорганические соли натрия, калия или лития. Зависимости на рис. 1 характеризуют влияние некоторых Na-содержащих веществ на подвижность опочной суспензии.

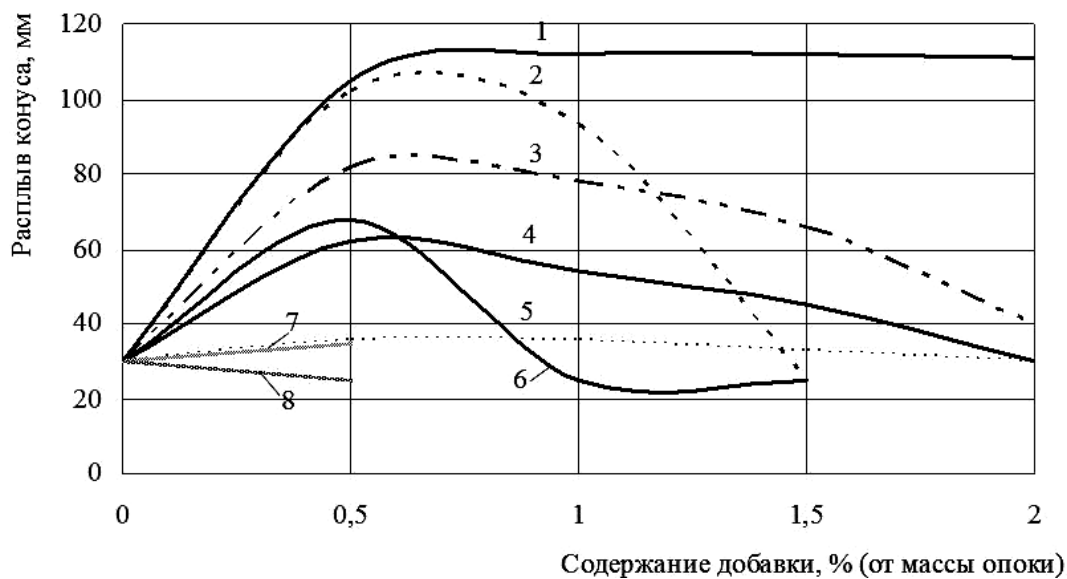


Рис. 1. Влияние Na-содержащих веществ на подвижность опочной суспензии: 1 – Na₄P₂O₇; 2 – NaOH; 3 – Na₂SiO₃; 4 – Na₂CO₃; 5 – NaF; 6 – Na₂B₄O₇; 7 – Na₂C₄H₄O₆; 8 – NaCl

Данные рис.1 показывают, что введение в суспензию до 1 % добавок Na₄P₂O₇, NaOH, Na₂SiO₃, Na₂CO₃ и Na₂B₄O₇ сопровождается существенным снижением ее вязкости. Эффективность использования добавок оценивалась по величине уменьшения водопотребности опочной суспензии. По этому показателю исследованные вещества располагаются в следующей последовательности: Na₄P₂O₇ (22,6 %); NaOH (20 %); Na₂SiO₃ (13 %); Na₂B₄O₇ (5 %); Na₂CO₃ (4,55 %); NaF (4 %).

На следующем этапе был сделан выбор газообразующего вещества, основанный на анализе литературных данных [4], а также на результатах предварительных экспериментов. В табл. 1 приведены технико-экономические показатели эффективности использования газообразователей, проявляющих активность в разрабатываемых Na-содержащих опочных системах.

Согласно данным, приведенным в табл. 1, наиболее подходящими газообразователями являются ПАГ и перекись водорода. Последующие опыты показали, что перекись водорода обеспечивает формирование более качественной пористой структуры сырцово-матрицы. В отличие от дисперсного алюминия разложение H₂O₂ гораздо меньше подвержено влиянию трудноконтролируемых факторов – температуры и pH среды и др. Вода, выделяющаяся при этом процессе, позволяет оптимизировать скорость образования газа с изменением реотехнологических показателей смеси.

Показатели эффективности применения газообразователя

Наименование (состав)	Технологические		Экономические		Особенности применения
	Диспер- гация	Кол-во газа, м ³ /кг	Цена, р./кг	Стоимость, м ³ /р.	
Алюминиевая пудра (ПАГ)	+	1200...1250	185...250	6,5	Образование взрывоопасной взвеси. Выделе- ние легковос- пламеняющего- ся водорода
Цинковый порошок (Zn)	+	330...350	170...180	2,0	Выделение водорода
Сухой лед (CO ₂)	-	760...790	40...60	19,5	Низкая температура
Карбид кальция (CaC ₂)	+/-	340...350	65...86	5,0	Выделение взрывоопасного ацетилена
Перекись водорода (H ₂ O ₂)	+	120...130	40...45	3,1	Сильный окислитель

Влияние катализатора на параметры процесса разложения перекиси водорода определяли на модельных системах, состоящих из 5 мл перекиси водорода 3 %-й концентрации и 1,7 % добавки. В этом качестве использовали как гомогенные катализаторы в виде Na-содержащих солей и органических пластификаторов, так и гетерогенный катализатор – порошкообразный уголь. Постоянной добавкой в смеси являлась K₂MnO₄ (~50 мг/л). Для построения экспериментальных кривых объем кислорода, выделившегося при разложении H₂O₂, определяли газометрическим способом (рис. 2 и 3).

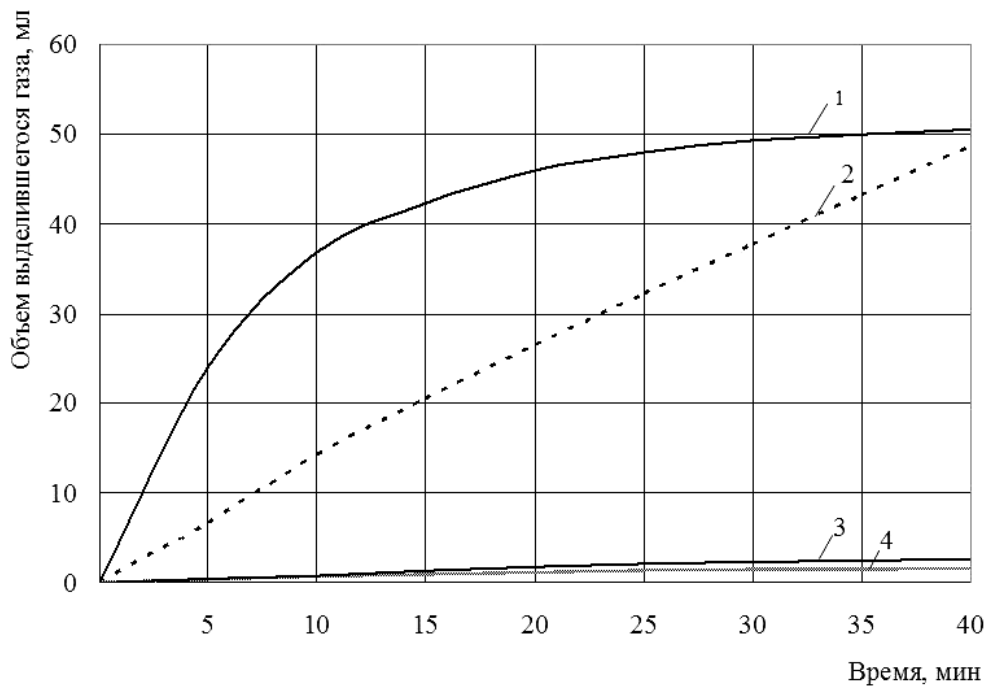


Рис. 2. Кривая выделения газа при разложении H₂O₂ в присутствии катализатора:
1 – уголь (порошок); 2 – Na₂CO₃; 3 – Na₂SiO₃; 4 – Na₄P₂O₇

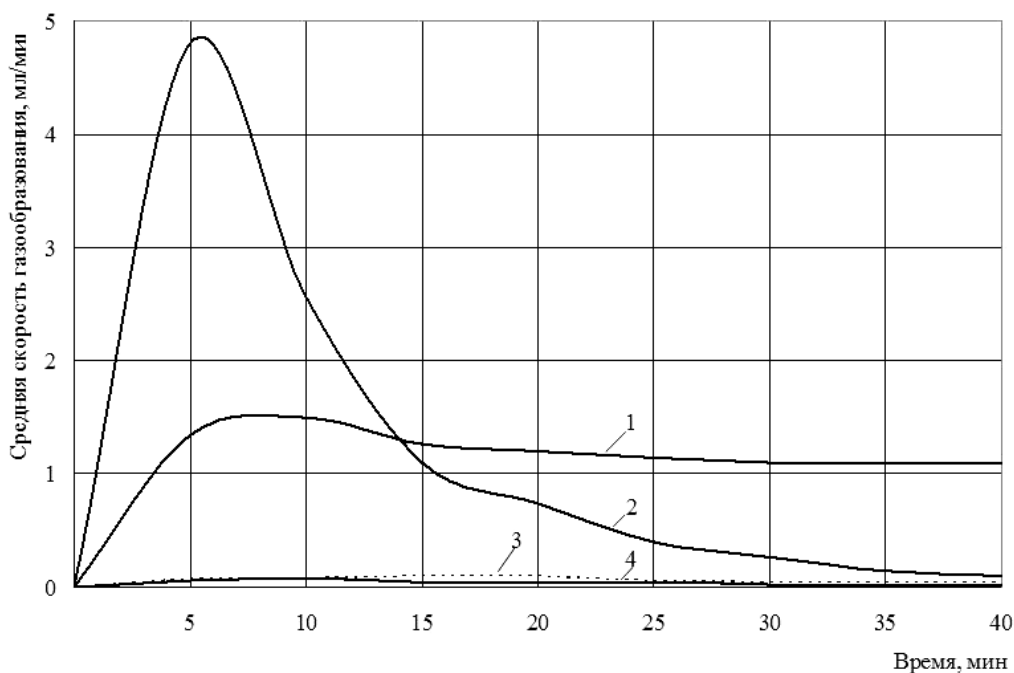


Рис. 3. Кривая скорости выделения газа при разложении H_2O_2 в присутствии катализатора:
1 – уголь (порошок); 2 – Na_2CO_3 ; 3 – Na_2SiO_3 ; 4 – $Na_4P_2O_7$

Сравнение результатов расчета теоретически выделяемого в заданных условиях объема газа с экспериментальными данными показывает, что применение гетерогенного катализатора обеспечивает максимальную степень использования газообразующей способности H_2O_2 (~94 %). Эффективность применения гомогенных катализаторов существенно различается и составляет: для силиката и фосфата натрия около 2 %; для соды – 88...90 %.

Влияние органических пластификаторов на кинетику выделения кислорода изучали на примере добавок С-3 и ЛСТ (1,35 %). Для проведения эксперимента изготавливали базовый раствор, состоящий из 20 мл перекиси водорода 3 %-й концентрации, а также Na_2CO_3 (2,5 %) и K_2MnO_4 (0,05 %). Полученные результаты приведены на рис. 4.

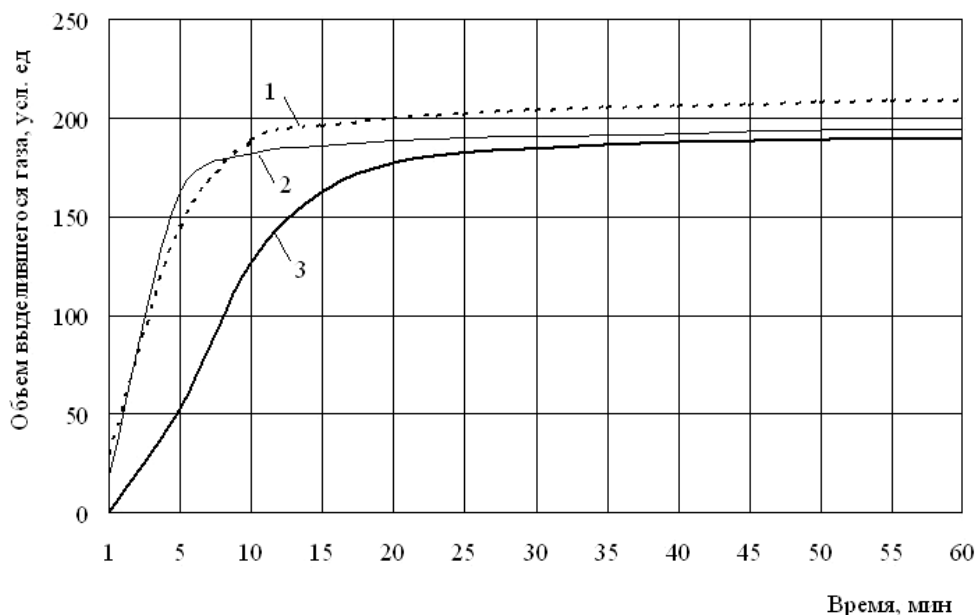


Рис. 4. Влияние пластификатора на процесс выделения газа при разложении H_2O_2 :
1 – базовый (без добавок); 2 – с добавкой С-3; 3 – с добавкой ЛСТ

Данные рис. 4 показывают, что суммарный объем газа практически не зависит от наличия или вида используемого пластификатора в растворе. Количество газа, выделившегося при разложении H_2O_2 к определенному моменту времени, выражается зависимостью

$$V = V_{\max} \cdot (1 - \exp^{-bt}), \quad (1)$$

где V_{\max} – максимальный объем выделившегося газа, мл; τ – время, мин; b – параметр процесса, зависящий от вида пластификатора (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Значения параметров V_{\max} и b

Раствор	Параметры	
	V_{\max}	b
Базовый:	205,8	0,227
– с добавлением С-3	192,1	0,281
– с добавлением ЛСТ	189	0,104

Анализ результатов работы позволил сформулировать следующие рекомендации по разработке составов сырьевых смесей для изготовления ячеистой керамики на основе природного кремнеземистого сырья:

– перекись водорода является наиболее пригодным газообразователем по совокупности технологических и экономических показателей;

– достаточный для решения большинства технологических задач водоредуцирующий эффект проявляют Na-содержащие добавки – $Na_4P_2O_7$, NaOH, Na_2SiO_3 и Na_2CO_3 ;

– из Na-содержащих разжижающих веществ добавка Na_2CO_3 характеризуется максимальным каталитическим воздействием на процесс выделения газа при разложении перекиси водорода;

– добавка молотого угля обладает многофакторным позитивным воздействием: на дообжиговом этапе она повышает разжижающий эффект и проявляет свойства катализатора разложения H_2O_2 в процессе порообразования; на этапе обжига является выгорающим и теплогенерирующим компонентом.

Список литературы

1. Прошин, А.П. Ячеистый бетон для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и инженерных коммуникаций /А.П. Прошин [и др.] //Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 14–15.
2. Береговой, В.А. Опочные породы в технологии пористой керамики для ограждающих конструкций зданий / В.А. Береговой [и др.] //Региональная архитектура и строительство. – 2012.– №3. – С.33–37.
3. Береговой, В. А. Жаростойкие пенобетоны / В.А. Береговой, Н.А. Прошина, Е.В. Королев – Пенза: ПГУАС, 2007. – 111 с.
4. Сидоров В. И., Малявский Н. И., Покидько Б. В. Получение эффективных водостойких утеплителей // Известия ВУЗов. Строительство. – 2003. № 3. – С. 134–139.

References

1. Proshin, A.P. Cellular concrete for thermal insulation of buildings and engineering communications /A.P. Proshin [etc.] //Construction materials. – 2002.– №3.– P. 14–15.
2. Beregovoy, V.A. Silica clay deposits in technology of porous ceramics for enclosing buildings structures /V.A. Beregovoy [etc.] //Regional architecture and engineering. – 2014. – № 2. – P. 84–88.
3. Beregovoy, V.A. Heat-resistant foam concretes /V.A. Beregovoy, N.A. Proshina, E.V. Korolev. – Penza: PGUAS, 2007. – 111 p.
4. Sidorov, V.I. Receiving effective waterproof heaters/V.I. Sidorov, N.I. Malyavsky, B.V. Pokidko //News of Higher education institutions. Construction. – 2003.– № 3. – P. 134–139.

УДК 69:81'42:003

*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**Горбунова Валентина Сергеевна**,
кандидат филологических наук, доцент
кафедры «Иностранные языки»
E-mail: VAL-SG@yandex.ru**Гринцова Ольга Васильевна**,
кандидат филологических наук, доцент,
зав. кафедрой «Иностранные языки»
E-mail: english@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**Gorbunova Valentina Sergeevna**,
Candidate of Philological Sciences, Associate
Professor of the Department «Foreign
languages»
E-mail: VAL-SG@yandex.ru**Grintsova Olga Vasilyevna**,
Candidate of Philology, Associate Professor,
Head of the department «Foreign languages»
E-mail: english@pguas.ru

СПОСОБЫ НАИМЕНОВАНИЯ БЕТОНОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

В.С. Горбунова, О.В. Гринцова

Изучено 180 словосочетаний с ядерным словом «concrete». Выявлено семь основных типов наименований в зависимости от состава бетона, его свойств, структуры, способов изготовления, назначения, весового параметра и нескольких характеристик.

Ключевые слова: способы наименования, словосочетания, ядерное слово, типы наименований, специальные словосочетания

WAYS OF DIFFERENT CONCRETE TITLES FORMING

V.S. Gorbunova, O.V. Grintsova

180 word combinations of the English language with the core word «concrete» were studied. In the result 7 main types of titles were found. They are formed depending on different ways of concrete production, its composition, properties, structure, weight parameter, ways of use and combinations of different characteristics.

Keywords: ways of titles forming, word combinations, core word, types of titles, special word combinations

Введение

Цель данной статьи: представить результаты проведенного исследования специальных словосочетаний (СпС), используемых в сфере строительного производства для наименования бетонов различных типов. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Отбор СпС с ядерным существительным concrete.
2. Анализ СпС по непосредственно составляющим.
3. Представление итогов исследования.

Методика исследования

В строительном производстве важное место занимает один из основных строительных материалов – бетон. Для наименования различных типов бетонов в английском языке используются специальные словосочетания с ядерным существительным concrete. В данной статье представлены результаты исследования словосочетаний, в которых ядерное существительное concrete имеет значение «бетон». Детальному анализу подвергаются 180 СпС, имеющих различные значения.

Экспериментально-исследовательская часть

Бетон является важнейшим строительным материалом и имеет ряд особых свойств и специальных характеристик. Как известно, бетон – один из важнейших строительных материалов, получаемый в результате затвердевания уплотненной

бетонной смеси, вяжущего (вещества), воды, заполнителей и в некоторых случаях добавок. По объемной массе бетоны подразделяют на особо тяжелые, тяжелые, легкие и особо легкие. По виду вяжущего бетоны бывают: цементные, силикатные, гипсовые, асфальтобетоны, полимербетоны и другие. По назначению различают бетоны обычные (для промышленных и гражданские зданий), гидротехнические, дорожные, теплоизоляционные, декоративные, специального назначения (химически стойкие, жаростойкие, для защиты от ядерных излучений и другие). Считается, что основной показатель качества бетона – прочность при сжатии, по которой устанавливается марка бетона.

Новая Британская Энциклопедия, давая определение бетону, указывает на непосредственные составляющие этого строительного материала – цемент, воду, песок и гравий: «concrete, in construction, structural material consisting of hard, chemically inert particulate substance, known as aggregate (usually sand and gravel), that is bonded together by cement and water» [1].

Широко используемое наименование concrete в сочетании с различной лексикой дает новые наименования, известные, как правило, только специалисту: finishing concrete – *отделочный бетон*, cement concrete – *цементный бетон*, cellular concrete – *ячеистый бетон*, reinforced concrete – *железобетон* и т.п. [2]. Такие словосочетания широко используются в текстах, посвященных проблемам строительства.

Ядерное существительное concrete именуется строительный материал бетон, а адьюнкты различных СпС – существительные, прилагательные, причастия – указывают на его определенные характеристики. С помощью специальных словосочетаний не только именуется бетон, но и сообщается специальная информация о его разновидностях:

- информация о бетоне с точки зрения его назначения – finishing concrete (бетон, используемый для отделочных целей);
- информация о бетоне в зависимости от его состава – cement concrete (адьюнкт-существительное cement указывает на наличие вяжущего вещества в составе бетона);
- информация о бетоне, имеющем определенную структуру, – cellular concrete (адьюнкт-существительное указывает на структуру бетона);
- информация о бетоне с точки зрения его веса – heavy concrete (адьюнкт-прилагательное указывает на вес бетона);
- информация о бетоне в зависимости от его свойств – refractory concrete (адьюнкт-прилагательное refractory указывает на свойство бетона – жаростойкость);
- информация о бетоне, изготовленном определенным способом, – reinforced concrete (адьюнкт-причастие прошедшего времени указывает на способ изготовления бетона, на то, что бетон в процессе изготовления подвергался специальному воздействию для придания ему соответствующих свойств и качеств);
- информация о бетоне, имеющем несколько характеристик (lightweight reinforced concrete – адьюнкты сообщают информацию о способе изготовления бетона и его весе).

Изучение языковых средств, используемых специалистами сферы строительного производства в письменной речи, дает возможность познакомиться с наименованиями бетона различных типов. Проведенный анализ показал значительное разнообразие наименований бетона. Основные виды наименований представлены в табл. 1.

В результате исследования было обнаружено 7 основных типов наименований (см. табл. 1). Анализ наименований видов бетона по составляющим выявил факторы, влияющие на структуру и семантические характеристики наименований.

Учитывая состав бетона, специалист при его номинации указывает на наличие в бетоне твердого заполнителя или вяжущего вещества. Так, например, бетон с твердым заполнителем именуется: hard rock concrete – *бетон с заполнителем* из твердой породы, granite concrete – *бетон из гранитного щебня*, gravel concrete – *бетон с заполнителем из гравия* и т.п. Каждый адьюнкт представлен, как правило, конкретным существительным, именуемым тип заполнителя. Бетоны, имеющие в своем составе вяжущее вещество, именуется: gypsum concrete – *гипсобетон*, cement concrete –

цементный бетон, lime concrete – *селикатобетон*, бетон на известии и др. [3]. Адьюнкт-существительное в таком СпС именуется составляющий ингредиент бетона – вяжущее вещество.

Т а б л и ц а 1

Классификация СпС, имеющих ядро-существительное concrete

№ п/п	Виды наименований
1	Наименования бетона в зависимости от состава: а) в зависимости от вида вяжущего вещества; б) в зависимости от вида твердого заполнителя
2	Наименования бетона в зависимости от объемной массы: с учетом весового параметра
3	Наименования бетона в зависимости от его структуры
4	Наименования бетона в зависимости от назначения
5	Наименования бетона в зависимости от его свойств
6	Наименования бетона в зависимости от способа его изготовления
7	Наименования бетона, включающие несколько характеристик

Наименование бетона по объемной массе указывает на вес бетона. Например: heavy concrete – *тяжелый бетон*, lightweight concrete – *легкий бетон*. Наименование бетона по структуре осуществляется, например, с помощью СпС finest concrete – *мелкозернистый бетон*, cellular concrete – *ячеистый бетон* и др. Адьюнкт – существительное или прилагательное в таких СпС используется для описания веса и структуры.

Для наименования бетонов, имеющих определенное назначение, используются СпС: architectural concrete – *архитектурный бетон*, pavement concrete – *дорожный бетон*, finishing concrete – *отделочный бетон* и т.п. Эти наименования не только называют бетоны, но и указывают на их назначение, на то, где они используются. Для архитектурных целей используется архитектурный бетон, специально для этого предназначенный – architectural concrete. Для дорожного строительства используется особый бетон, именуемый pavement concrete. Для отделочных работ используется бетон, называемый finishing concrete. Наименование бетона специалистами происходит в зависимости от его свойств: strong concrete – *высокопрочный бетон*, fast hardening concrete – *быстротвердеющий бетон*, refractory concrete – *жароупорный бетон* и т.п. Адьюнкт такого словосочетания указывает на свойство бетона – прочность, способность к быстрому твердению, жаростойкость и т.п.

Наименования бетона в зависимости от способа изготовления включают такие, которые содержат информацию о том, как бетон был приготовлен: prestressed concrete – *предварительно напряженный бетон*, pressed concrete – *прессованный бетон*, reinforced concrete – *железобетон* и т.п. Адьюнкт такого СпС информирует о способе изготовления бетона – предварительном напряжении, прессовании, армировании.

Имеются наименования бетонов, в значении которых отражаются несколько его характеристик. Это, как правило, СпС, имеющие в составе три компонента: ordinary structural concrete – *тяжелый конструктивный бетон*, lightweight reinforced concrete – *железобетон на легких заполнителях*, керамзитобетон и т.д. С помощью адьюнктов СпС prestressed reinforced concrete характеризуются два способа обработки бетона – напряжение (с помощью адьюнкта prestressed) для придания заданных свойств и армирование – для придания большей прочности (с помощью адьюнкта reinforced). Именуя бетон специальным словосочетанием lightweight aggregate concrete, специалисты указывают на две его характеристики – объемную массу (в данном случае легкий вес – lightweight) и состав (наличие заполнителя – aggregate) [4]. Русскоязычный строитель называет такой бетон керамзитобетон.

Результаты исследования

Анализ наименований бетона показал, что они образуются различными способами в зависимости от его характеристик, представленных адьюнктами. Адьюнкты именуют следующие характеристики бетона: 1) состав (вяжущее вещество или твердый наполнитель – gypsum, gravel); 2) назначение бетона (finishing, architectural); 3) способ изготовления (prestressed, reinforced); 4) весовой параметр (heavy, lightweight); 5) структуру бетона (cellular, honeycombing); 6) свойство бетона (strong, refractory); 7) разнообразные характеристики (lightweight, reinforced; lightweight, lime).

Изучение способов построения СпС показало разнообразие составов адьюнктов. Адьюнкты-прилагательные в составе СпС характеризуют определённые признаки ядра-существительного: вес – heavy concrete, свойство – refractory concrete, назначение – architectural concrete, состав – asphaltic concrete и др. Адьюнкты-причастие используется для наименования различных характеристик бетона. Обычно причастие прошедшего времени указывает на способ изготовления и структуру бетона. Например: pressed concrete, reinforced concrete, aerated concrete.

Для описания различных характеристик бетона широко используются и существительные-адьюнкты, которые приобретают значение признаковости. Например: gypsum concrete, cement concrete, gravel concrete, granite concrete. Существительные-адьюнкты со значением признаковости обычно используются в СпС для характеристики состава бетона. Они именуют тот ингредиент, который является составляющим данного бетона – твердый наполнитель или вяжущее вещество.

Анализ СпС с ядерным существительным concrete дает возможность классифицировать их на семь основных тематических групп. Имеются следующие наименования бетона в зависимости от: 1) состава; 2) назначения; 3) способа изготовления; 4) объемной массы; 5) структуры; 6) различных свойств; 7) нескольких характеристик. При этом наименования бетона по составу подразделяются на две группы: наименования по виду вяжущего вещества и твердого наполнителя. Бетон также может именоваться в зависимости от его качества, цвета и места применения. Например: strong concrete – *высокопрочный бетон*, gray concrete – *серый бетон*, underwater concrete – *подводный бетон*.

При выявлении номинативно-когнитивного потенциала СпС исследуемой группы определены их возможности именовать различные виды бетона. Наиболее полно можно представить потенциал СпС с ядерным существительным concrete с помощью следующей фреймовой схемы (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Схемы кодирования информации о строительном материале «Бетон»

№ п/п	Наименования строительного материала	Способы кодирования информации	СпС – наименование строительного материала
1	concrete	Made by means of vibration (способ изготовления)	→ Vibrated concrete
2	concrete	Having quality (качество)	→ Strong concrete
3	concrete	Used in place (место)	→ Underwater concrete
4	concrete	Having colour (цвет)	→ Coloured concrete
5	concrete	Made of binding material (состав) Made of aggregate (состав)	→ Gypsum concrete → Ash concrete
6	concrete	Used for different purposes (назначение)	→ Architectural concrete
7	concrete	Having definite weight (вес)	→ Lightweight concrete
8	concrete	Having structure of (структура)	→ Sandwich concrete
9	concrete	Having property (свойство)	→ Refractory concrete
10	concrete	Having 2 or more different characteristics	→ Lightweight lime concrete

Выявленные словосочетания отличаются большим разнообразием. Так, имеются СпС, представляющие негативные характеристики бетона. Например, при наименовании бетона низкого качества используется СпС *faulty concrete* – *некачественный бетон*. Наличие таких словосочетаний указывает на возможности СпС с ядерным существительным *concrete* именовать в дальнейшем новые виды бетона, используемые в строительстве и отличающиеся цветом, качеством, местом применения и другими характеристиками.

Выводы

Проведенное исследование показало, что бетоны именуются преимущественно двухкомпонентными субстантивными словосочетаниями, образованными по моделям: N + N – существительное + существительное, A + N – прилагательное + существительное, P + N – причастие + существительное. Препозиционные компоненты именуют разнообразные характеристики бетона. Способы наименования бетонов зависят от различных факторов, таких, как вес, состав, структура бетона и др. Выявлено семь основных способов наименования бетонов:

- 1) в зависимости от состава бетона;
- 2) с учетом параметра веса;
- 3) в зависимости от способа изготовления;
- 4) в зависимости от структуры бетона;
- 5) с учетом свойств бетона;
- 6) в зависимости от назначения бетона;
- 7) с учетом нескольких характеристик.

Список литературы

1. Encyclopaedia Britannica, 15th Edition. – URL: [www. britannica.com/.../Encyclopaedia-Britanni...](http://www.britannica.com/.../Encyclopaedia-Britanni...) Peter B.Norton. Amazon.com.2015. (дата обращения 15.02.2016).
2. Англо-русский строительный словарь / Ред. П.Г. Амбургер. – URL: <https://www.multitran.ru/.../%5CBook Dict %5CАнгло-русский %20строит> (дата обращения 8.02.2016)
3. Многоязычный строительный словарь / ред. С.М. Корчемкин, С.В. Курбатов. – URL: Forum.lingvo.ru/actualthread.aspx?tid=114481 (дата обращения 10.02.2016).
4. Горбунова, В.С. Специальные словосочетания английского языка в текстах строительного профиля: номинативно-когнитивный потенциал: дис. ... канд. филол. наук / В.С. Горбунова. – М.: МГЛУ. – 214 с. – URL: www.disertant.ru/index.php?cat=10&st=3930 (дата обращения: 15.02.2016)

References

1. Encyclopaedia Britannica, 15th Edition. – URL: [www. britannica.com/.../Encyclopaedia-Britanni...](http://www.britannica.com/.../Encyclopaedia-Britanni...) Peter B.Norton. Amazon.com.2015. (date of use 15.02.2016).
2. English-Russian construction dictionary / P.G.Amburger. – URL: <https://www.multitran.ru/.../%5CBook Dict %5CАнгло-русский %20строит> (date of use 8.02.2016).
3. Multi-language construction dictionary/S.M. Korchemkin, S.V. Kurbatov. – URL: Forum.lingvo.ru/actualthread.aspx?tid=114481 (date of use 10.02.2016).
4. Gorbunova V. S. Special word combinations of the English language in construction sphere texts: nominative-cognitive potential: dis. ... candidate. philol. sciences / V.S. Gorbunova. – М.: MGLU. – 214 p. – URL: www.disertant.ru/index.php?cat=10&st=3930 (date of use 15.02.2016).

УДК 691.534.2

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

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

Пышкина Ирина Сергеевна,
аспирант кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: glazycheese@gmail.com

Васин Леонид Анатольевич,
кандидат технических наук,
зав. кафедрой «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: leo@pguas.ru

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

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

Pyshkina Irina Sergeevna,
Postgraduate of the department «Quality
management and construction technologies»
E-mail: glazycheese@gmail.com

Vasin Leonid Anatolievich,
Candidate of Sciences, Head of the
department «Information and Computing
Systems»
E-mail: leo@pguas.ru

МОДИФИКАЦИЯ ИЗВЕСТКОВЫХ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ*

В.И. Логанина, И.С. Пышкина, Л.А. Васин

Предложено применять в качестве структурирующей добавки в отделочных известковых сухих строительных смесях добавку на основе синтезированных гидросиликатов кальция. Показано влияние режима синтеза добавки на реологические свойства известковых составов. Установлено, что применение добавок на основе синтезированных гидросиликатов способствует ускорению набора прочности.

Ключевые слова: добавка, гидросиликаты кальция, диатомит, пластическая прочность, предел прочности при сжатии.

MODIFICATION OF LIME DRY MIXES BY ADDITIVES ON THE BASIS OF CALCIUM SILICATE

V.I. Loganina, I.S. Pyshkina, L.A. Vasin

It is proposed to use an additive based on synthetic calcium silicate as the structuring additive in finishing lime dry mixes. The influence of the mode of synthesis of additives on the rheological properties of lime formulations is shown. It is found that the use of additives based on synthetic hydrosilicates accelerates curing.

Keywords: additive, calcium hydrosilicates, diatomaceous earth, plastic strength, compressive strength

Отделочные покрытия на основе известковых составов обладают высокими показателями паропроницаемости, адгезионной прочности и биостойкости. Это позволяет применять их для реставрации и отделки зданий и сооружений исторической застройки. Учитывая, что известковые составы обладают медленными сроками отверждения и недостаточной водостойкостью, в их рецептуру предложено вводить структурирующие добавки [1–4]. Проведенные ранее исследования подтвердили возможность регулирования структуры и свойств известковых составов путем

* Работа выполнялась при финансовой поддержке программы «УМНИК».

введения в их рецептуру добавок на основе гидросиликатов кальция (ГСК), позволяющих повысить эксплуатационную стойкость [5–7].

Установлено, что образующиеся гидросиликаты кальция имеют различную основность. По данным [8] низкоосновные гидросиликаты кальция обладают большей прочностью. Учитывая это, с целью получения низкоосновных гидросиликатов кальция нами при синтезе добавки дополнительно были введены материалы, содержащие кремнезем, в частности, диатомит Инзенского месторождения с удельной поверхностью $S_{уд} = 19000 \text{ см}^2/\text{г}$.

В работе использовались два режима синтеза: 1 режим – осаждение в присутствии 15 %-го раствора хлористого кальция в количестве 50 % от массы жидкого стекла; 2 режим – осаждение в присутствии 10 %-го раствора хлористого кальция в количестве 50 % от массы жидкого стекла с добавлением суспензии диатомита, при этом соотношение «твердая : жидкая фаза» (Т:Ж) составляло (Т:Ж) = 1:2. Полученную смесь перемешивали, отфильтровывали. Осадок высушивали при температуре 100°C .

В работе применялась известь 2 сорта с активностью 86 %. При этом содержание добавки ГСК составляло 30 % от массы извести.

Реологические свойства известковых составов были изучены с помощью ротационного вискозиметра ВСН-3. На рис. 1 представлена зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига. Водоизвестковое отношение известкового состава составляло В/И=1,3.

Выявлено, что изменение напряжения сдвига известковых систем подчиняется уравнению Шведова – Бингама:

$$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma}, \quad (1)$$

где τ_0 – предельное напряжение сдвига; η – пластическая вязкость; $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига.

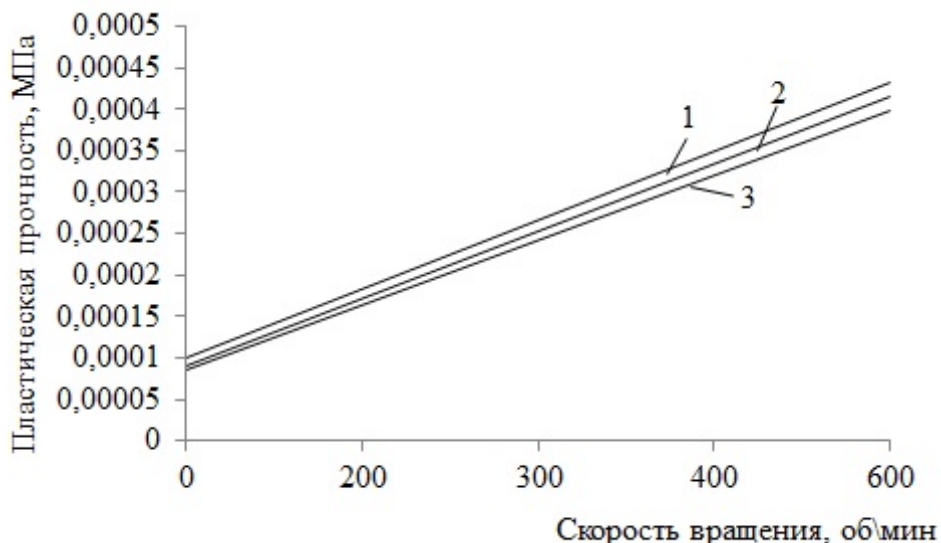


Рис. 1. Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига:

- 1 – известковый состав с добавлением ГСК, синтезированных по 1-му режиму;
- 2 – известковый состав с добавлением ГСК, синтезированных по 2-му режиму;
- 3 – контрольный состав (без добавок ГСК)

Уравнение (1) для известковых составов с добавлением ГСК, синтезированных по 1-му режиму, имеет вид:

$$\tau = 0,0001 + 0,00000141 \dot{\gamma};$$

– для известковых составов с добавлением ГСК, синтезированных по 2-му режиму:

$$\tau = 0,000097 + 0,00000135 \dot{\gamma};$$

– для контрольного состава (без введения добавок ГСК)

$$\tau = 0,000085 + 0,00000124 \dot{\gamma}.$$

Для известковых составов с добавкой ГСК, синтезированной по 2-му режиму, значение предельного напряжения сдвига составляет $\tau_0=0,0001$ МПа, а пластическая вязкость $\eta=0,00000141$ МПа \times мин (рис.1, кривая 1); для известковых составов с добавкой ГСК, синтезированной по 1-му режиму, $\tau_0=0,000097$ МПа и, соответственно, $\eta=0,00000135$ МПа \times мин (рис. 1, кривая 2). Для контрольного состава начальное напряжение сдвига составляет $\tau_0=0,000085$ МПа, а пластическая вязкость $\eta=0,00000124$ МПа \times мин (рис. 1, кривая 3).

Введение в рецептуру известковых составов добавки гидросиликатов кальция, синтезированных с применением диатомита, способствует структурированию известковой системы и увеличению предельного напряжения сдвига.

Реологические свойства известковых систем с добавками ГСК исследовались также с помощью конического пластометра КП-3. Для сравнения изготавливались составы с применением диатомита в количестве 30 % от массы извести.

Выявлено, что известковые составы с добавкой ГСК, синтезированной по 2-му режиму, характеризуются большей скоростью набора пластической прочности (рис. 2, кривая 4).

Так, пластическая прочность известковой смеси с добавкой ГСК, синтезированной по 2-му режиму, уже в возрасте 4 ч твердения составляет $\tau = 0,001$ МПа (рис. 2, кривая 4), а с добавкой ГСК, синтезированной по 1-му режиму, $\tau = 0,0009$ МПа (рис. 2, кривая 3). Пластическая прочность контрольного состава составляет $\tau = 0,0007$ МПа (рис. 2, кривая 1).

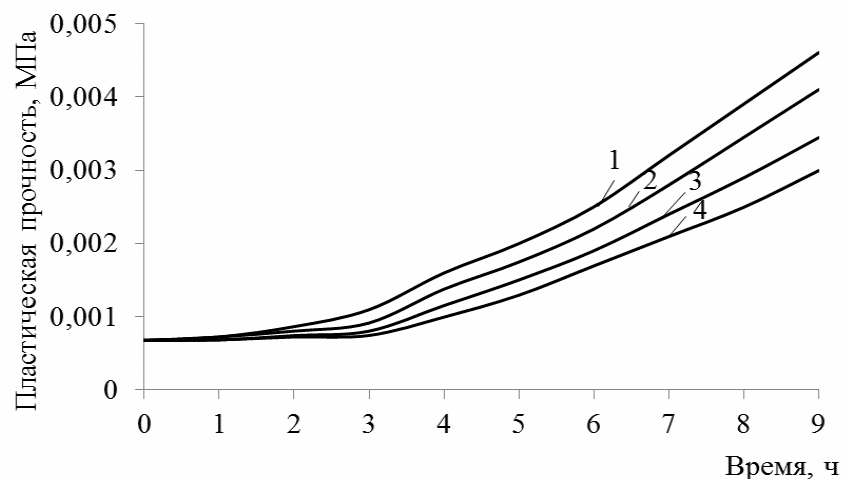


Рис. 2. Изменение пластической прочности известковых составов:
 1 – состав с добавлением ГСК, синтезированных по 2-му режиму;
 2 – состав с добавлением ГСК, синтезированных по 1-му режиму;
 3 – состав на основе диатомита (без добавок ГСК);
 4 – контрольный состав

Активность добавок оценивалась по показателю прочности при сжатии известковых образцов в зависимости от режима их синтеза. В возрасте 28 суток твердения определялась прочность при сжатии известковых образцов. Результаты исследований приведены на рис. 3.

Выявлено, что в возрасте 28 суток воздушно-сухого твердения прочность при сжатии $R_{сж}$ известковых образцов на основе ГСК, синтезированных по 2-му режиму, выше и составляет $R_{сж}=7,59$ МПа, в то время как у известковых образцов на основе ГСК, синтезированных по 1-му режиму, $R_{сж}=4,7$ МПа. Прочность при сжатии контрольного образца составляет $R_{сж}=2,12$ МПа.

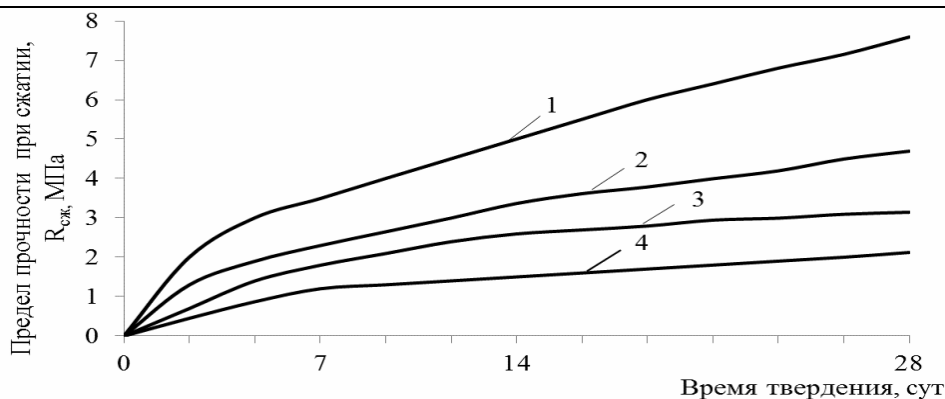


Рис. 3. Кинетика твердения известковых образцов:
 1 – с добавкой, синтезированной по 1-му режиму;
 2 – с добавкой, синтезированной по 2-му режиму;
 3 – с диатомитом (без добавок ГСК);
 4 – контрольный состав

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о эффективности применения добавок ГСК в известковых отделочных составах. Применение структурирующих добавок способствует более быстрому структурообразованию, что особенно актуально при проведении ремонтных работ.

Список литературы

1. Логанина, В.И. Сухие строительные смеси для реставрации зданий исторической застройки / В. И. Логанина // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 3 (24). – С.34–42.
2. Шумков, А.И. Бесклинкерное известково-алюмосиликатное гидравлическое вяжущее естественного твердения / А.И. Шумков // Сухие строительные смеси. – 2011. – № 3. – С. 20–21.
3. Никифоров, Е.А. Особенности структурообразования известковых композитов с применением модифицированного диатомита / Е.А. Никифоров, В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2 (11). – С. 4–9.
4. Калашников, В.И. Сухие строительные смеси на основе местных материалов / В.И. Калашников, В.С. Демьянова, Н.М. Дубошина // Строительные материалы. – 2000. – № 5. – С. 30–33.
5. Логанина, В.И. Известковые составы для реставрации стен зданий и сооружений / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Отраслевые аспекты технических наук. – 2013. – № 9 (33). – С. 22–25.
6. Логанина, В.И. Известковые отделочные составы с применением наполнителя на основе синтезированных гидросиликатов / В.И. Логанина, И.С. Пышкина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2015. – Т.15. – №4. – С. 36–39.
7. Зоткин, А.Г. Применение наполнителей в строительных смесях / А.Г. Зоткин // Сухие строительные смеси. – 2009. – № 3. – С. 66–68.
8. Каушанский, В.Е. Некоторые закономерности гидратационной активности силикатов кальция / В.Е. Каушанский // Прикладная химия. – 1977. – № 8. – С. 1688–1692.

References

1. Loganina, V.I. Dry mixes for restoration of buildings of historic buildings / V.I. Loganina // Regional architecture and engineering. – 2015. – № 3 (24). – P.34–42.
2. Shumkov, A.I. Besklinkernyh lime-aluminosilicate hydraulic binder uncured / A.I. Shumkov // Dry construction mixtures. – 2011. – № 3. – P. 20–21.

3. Nikiforov, E.A. Features of structure of calcareous composites using modified diatomite / E.A. Nikiforov, V.I. Loganina, O.A. Davydova, E.E. Simonov // Regional architecture and engineering. – 2011. – № 2 (11). – P. 4–9.
4. Kalashnikov, V.I. Dry construction mixtures based on local materials / V.I. Kalashnikov, V.S. Demyanova, N.M. Duboshin // Building materials. – 2000. – № 5. – P. 30–33.
5. Loganina, V.I. Lime formulations for the restoration of the walls of buildings / V.I. Loganina, L.V. Makarova K.A. Sergeeva // Sectoral aspects of technical sciences. – 2013. – № 9 (33). – P. 22–25.
6. Loganina, V.I. Lime finishing compositions with the use of a filler based on synthetic Hydrosilicates / V.I. Loganina, I.S. Pyshkina // Bulletin of South Ural State University. Series: Construction and architecture. – 2015. – T.15. – №4. – P. 36–39.
7. Zotkin, A.G. The use of fillers in construction mixtures / A.G. Zotkin // Dry construction mixtures. – 2009. – № 3. – P. 66–68.
8. Causeni, V.E. Some patterns of hydration activity of calcium silicate / V.E. Causeni // Applied Chemistry. – 1977. – № 8. – P. 1688–1692.

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

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АППРОКСИМАЦИИ КИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛИДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Приводится опыт использования линеаризации кинетических процессов в полидисперсных системах. Указываются используемые замены переменных.

Ключевые слова: композиты, полидисперсные системы, кинетические процессы, аппроксимация, способы

PRACTICAL METHODS FOR APPROXIMATION KINETIC PROCESSES IN POLYDISPERSE SYSTEMS

A.M. Danilov, I.A. Garkina

The experience of the use of linearization of kinetic processes in polydisperse systems is given. Changes of variables are stated.

Keywords: composites, polydisperse systems, kinetic processes, approximation methods

В общем случае кинетические процессы формирования физико-механических характеристик материала являются нелинейными. Однако во многих случаях возможна и линейная аппроксимация. Часто используется замена переменных:

$$Y' = a + bX', \quad X' = U(X), \quad Y' = V(X).$$

При выборе между степенными и показательными функциями можно воспользоваться простыми графическими правилами. По экспериментальным данным (x_i, y_i) , $i = 1, \dots, m$ определяются точки $A_i = (\ln x_i, \ln y_i)$, $B_i = (x_i, \ln y_i)$ и наносятся на график.

Коэффициент b приближенной прямой можно принять за начальное приближение параметра β показательной или степенной функции.

В случае планируемых измерений выбирают две последовательности точек: $X_{i+1} = X_i + h$ (арифметическая прогрессия); $X'_{i+1} = qX'_i$, $q > 1$ (геометрическая прогрессия). Измеряют соответствующие выходные величины: Y_i – в точке X_i , Y'_i – в точке X'_i , $i = 1, \dots, m$. Вычисляют отношения последовательных результатов:

$$r_i = \frac{Y_{i+1}}{Y_i}, \quad r'_i = \frac{Y'_{i+1}}{Y'_i}, \quad i = 1, \dots, (m-1).$$

Если отношения r_i приближенно постоянны, то выбирают показательную функцию и оценивают ее параметр:

$$\beta = \frac{\ln \left(\frac{\sum_i r_i}{m-1} \right)}{h};$$

если приближенно постоянны отношения r'_i , то выбирается степенная функция, а ее показатель оценивается по формуле

$$\beta = \frac{\left(\frac{\sum_i r'_i}{\ln q} \right)}{m-1}.$$

При линеаризации используются соответствующие замены переменных:

$$\begin{cases} \tilde{Y} = \ln Y & \text{— для показательной функции } Y = \alpha e^{\beta X}; \\ \begin{cases} \tilde{X} = \frac{1}{x}, \\ \tilde{Y} = \ln Y \end{cases} & \text{— для показательной функции } Y = \alpha e^{\frac{\beta}{X}}; \end{cases}$$

$$\tilde{Y} = \frac{1}{Y} \text{ — для дробно-линейной } Y = (\alpha + \beta X)^{-1};$$

$$\begin{cases} \tilde{X} = \frac{1}{X}, \\ \tilde{Y} = \frac{1}{Y} \end{cases} \text{ — для дробно-линейной } Y = \frac{X}{\alpha + \beta X};$$

$$\tilde{X} = \frac{1}{X} \text{ — для гиперболической } Y = \alpha + \frac{\beta}{X};$$

$$\tilde{X} = \ln X \text{ — для логарифмической } Y = \alpha + \beta \ln X;$$

$$\tilde{X} = \frac{1}{\ln X} \text{ — для логарифмической } Y = \alpha + \frac{\beta}{\ln X};$$

$$\begin{cases} \tilde{X} = \ln X, \\ \tilde{Y} = \ln Y \end{cases} \text{ — для степенной } Y = \alpha X^\beta.$$

Выбор степени аппроксимирующего полинома осуществляется с использованием разложения по ортогональным полиномам Чебышева $P_j(X)$ [1...4]. Относительно экспериментальных данных предполагается, что значения X_i известны точно; значения Y_i содержат погрешности с приближенно гауссовским распределением и дисперсиями $S_i^2 = \frac{S^2}{\omega_i}$.

На практике по данным (X_i, Y_i) последовательно строились полиномиальные приближения со степенями $L = 1, \dots, l$ по МНК:

$$f_l(X) = \sum_{j=0}^l b_j P_j(X), \quad b_j = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i Y_i P_j(X_i)}{\sum_{i=1}^m \omega_i P_j^2(X_i)}.$$

Максимальная степень полинома определялась, исходя из конкретной задачи (в большинстве случаев удалось ограничиться $L = 5$).

Определялись остаточные суммы квадратов

$$Q_l = \sum_{i=1}^m \omega_i Y_i^2 - \sum_{j=0}^m b_j^2 H_j$$

и оценки дисперсии $S_l^2 = \frac{Q_l}{m-l-1}$, соответствующие различным степеням l .

Степень полинома увеличивалась, пока оценки S_l^2 заметно убывали. Выбор степени полинома l осуществлялся исходя из точности, в основном по:

– значению l , при котором оценка S_l^2 минимальна:

$$S_l^2 < S_{l-1}^2, \quad S_l^2 < S_{l+1}^2;$$

– значению l , после которого оценка S_l^2 переставала заметно убывать:

$$S_{l+1}^2 > 0,8S_l^2.$$

Если при всех степенях $l < L$ условие (выбранное) не достигалось, то максимальную степень полинома принимали равной L .

При выборе степени полинома использовались и методы перекрестного выбора. Все данные разбивают на $l+2$ группы. Одна из групп принималась в качестве проверочной, а по медианным точкам остальных групп строился полином $f_l(X)$. Согласие полинома с исходными данными оценивалось по его отклонению от медианы проверочной выборки:

$$d(l, n) = \left| f(X_{med}^n) - Y_{med}^n \right|.$$

Процедуру повторяли многократно, принимая последовательно каждую из групп за проверочную. Определялся суммарный показатель адекватности полинома $f_l(X)$ исходным данным:

$$d(l) = \sum_{n=1}^{l+2} d(l, n).$$

В качестве искомой степени полинома принималось то значение l , для которого показатель $d(l)$ минимален.

Указанные способы оказались эффективными при идентификации процессов формирования отдельных свойств композиционных материалов [2, 5]. В дальнейшем результаты использовались при определении аналитического выражения обобщенной целевой функции.

Рассмотрим некоторые практически важные случаи. Так, в гетерогенных системах кинетические процессы нередко носят экспоненциальный характер

$$y = ae^{bx}.$$

При их идентификации часто используются их логарифмирование

$$\lg y = \lg a + bx.$$

Или, введя $\lg y = Y$, $x = X$, $\lg a = A$, получим

$$Y = A + bX, \quad (1)$$

где A и b легко вычисляются методом линейной регрессии.

В качестве иллюстрации приведем параметрическую идентификацию таблично заданного кинетического процесса зависимостью $y = ae^{bx} + c$.

x	1,84	1,92	2,0	2,08	2,16	2,24	2,32	2,4
y	61,7	62,5	63	63,6	64,5	65	65,4	66,4
x	2,48	2,56	2,64	2,72	2,8	2,96	3,04	3,12
y	67,1	68,0	68,7	69,4	70,2	70,2	71,1	72,8
x	3,2	3,28	3,36	3,44	3,52	3,6	3,68	3,76
y	73,6	74,5	76,4	77,2	78,1	79,2	80,3	81,2
x	3,84	3,92	4,0	4,08	4,16	4,24	4,32	4,4
y	82,2	83,3	84,4	85,4	86,5	87,8	89,1	90,1
x	4,48	4,56	4,64	4,72	4,8	4,88	4,96	
y	91,3	92,5	93,8	95,1	96,4	97,8	98,7	

Непосредственные вычисления дают $y = 20e^{0,25x} + 3$.

Если процессы носят степенной характер

$$y = ax^b,$$

то используется логарифмирование:

$$\lg y = \lg a + b \lg x;$$

a и b получаются так же, как и в уравнении (1). Однако в некоторых случаях последний метод нельзя использовать без некоторой дополнительной информации, например для системы

$$y = a_0 + a_1 \lg(a_2 + x);$$

здесь требуется идентифицировать a_0, a_1, a_2 . Метод малых возмущений дает

$$\Delta y = \frac{a_1}{a_2 - x} \Delta x = b \Delta x;$$

коэффициент b может быть идентифицирован с помощью линейной регрессии:

$$b = \frac{a_1}{a_2 - x}.$$

Однако это не дает решения для a_0, a_1, a_2 . Использование высших частных производных (возмущения второго и последующих порядков) на практике обычно не имеет смысла, так как здесь значимость производных мала (измерения, как правило, зашумлены).

Приведем пример параметрической идентификации нелинейной модели кинетического процесса вида

$$y = a_0 + a_1 x_1 x_2^3 + a_2 x_2 e^{-a_3 \frac{x_1^2}{x_3}} + \frac{a_4 x_4}{\sqrt{1 - a_5 x_5^2}} \quad (2)$$

(получена из интуитивных и теоретических соображений).

Произведя замену

$$\xi_1 = x_1 x_2^3, \xi_2 = \frac{x_1^2}{x_3}, \xi_3 = x_2, \xi_4 = x_4, \xi_5 = x_5,$$

будем иметь

$$y = a_0 + a_1 \xi_1 + a_2 \xi_3 e^{-a_3 \xi_2} + \frac{a_4 \xi_4}{\sqrt{1 - a_5 \xi_5^2}}. \quad (3)$$

При малости приращений переменных получим линеаризацию:

$$\Delta y = a_1 \Delta \xi_1 - a_2 a_3 \xi_3 e^{-a_3 \xi_2} \Delta \xi_2 + a_2 e^{-a_3 \xi_2} \Delta \xi_3 + \frac{a_4 \xi_4}{\sqrt{1 - a_5 \xi_5^2}} \Delta \xi_4 + \frac{a_4 a_5 \xi_4 \xi_5}{\sqrt{(1 - a_5 \xi_5^2)^3}} \Delta \xi_5.$$

Введя

$$b_1 = a_1, b_2 = -a_2 a_3 \xi_3 e^{-a_3 \xi_2}, b_3 = a_2 e^{-a_3 \xi_2}, b_4 = \frac{a_4 \xi_4}{\sqrt{1 - a_5 \xi_5^2}}, b_5 = \frac{a_4 a_5 \xi_4 \xi_5}{\sqrt{(1 - a_5 \xi_5^2)^3}}, \quad (4)$$

получим

$$\Delta y = b_1 \Delta \xi_1 - b_2 \Delta \xi_2 + b_3 \Delta \xi_3 + b_4 \Delta \xi_4 + b_5 \Delta \xi_5 = \sum_i b_i \Delta \xi_i.$$

При идентификации a_0, a_1, a_2 можно воспользоваться и методом линейной регрессии (статическая задача для системы с одним выходом [3] $X = a_0 + a_1 U_1 + \dots + a_m U_m$). С учетом $b_5 = b_4 a_5 \xi_4 \xi_5$ можно определить a_5 ; ξ_4, ξ_5 измеряемы. Подставляя a_5 в (4) для b_4 , найдем a_4 . Член a_1 непосредственно определяется величиной b_1 в соответствии с (4). Члены a_2, a_3 определяются из (4) для b_2, b_3 ; значение a_3 – из выражения $b_2 = -a_3 \xi_3 b_3$ (переменная ξ_3 доступна для измерения); a_2 – подстановкой a_3 в выражение (4) для b_2 .

Аналогично осуществлялась идентификация и других нелинейных зависимостей [4, 6].

Список литературы

1. Планирование эксперимента. Обработка опытных данных: монография / И.А.Гарькина [и др.]; под ред. проф. А.М.Данилова. – М.: Палеотип, 2005. – 272 с.
2. Баженов, Ю.М. 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.
3. Данилов, А.М. Сложные системы: идентификация, синтез, управление: монография / А.М. Данилов, И.А. Гарькина. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 308 с.
4. Данилов, А.М. Интерполяция, аппроксимация, оптимизация: анализ и синтез сложных систем: монография / А.М. Данилов, И.А. Гарькина. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 168 с.
5. Budylna, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylna, A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – №. 10. – P. 441–445. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5276>.
6. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – №. 5. – P. 219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>.

References

1. Planning of the experiment. Processing of experimental data: monograph / I.A.Garkina [et al.]; ed. prof. A.M.Danilov. – M.: PALEOTYP, 2005. – 272 p.
2. 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.
3. Danilov, A.M. Complex systems: identification, synthesis, management: a monograph / A.M. Danilov, I.A. Garkina. – Penza: PGUAS, 2011. – 308 p.
4. Danilov, A.M. Interpolation, approximation, optimization: analysis and synthesis of complex systems / A.M. Danilov, I.A. Garkina. – Penza: PGUAS, 2014. – 168 p.
5. Budylna, E. Control of multiobjective complex systems / E. Budylna, A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – №. 10. – P. 441–445. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5276>.
6. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – №. 5. – P. 219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>.

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 of the department «Quality
management and construction technologies»
E-mail: mihail-frolovv@yandex.ru

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ИЗВЕСТКОВЫЕ СОСТАВЫ ДЛЯ ОТДЕЛКИ СТЕН ИЗ ГАЗОБЕТОНА

В.И. Логанина, М.В. Фролов

Сравниваются гидрофизические и физико-механические свойства теплоизоляционных известковых покрытий с различными легкими наполнителями: полыми стеклянными микросферами, зольными микросферами алюмосиликатными, вспученным перлитовым и вермикулитовым песком. Установлена высокая эффективность применения полых стеклянных микросфер по сравнению с другими рассматриваемыми наполнителями.

Ключевые слова: известь, стеклянные полые микросферы, зольные микросферы алюмосиликатные, вспученный вермикулитовый песок, вспученный перлитовый песок, гидросиликаты кальция, алюмосиликаты кальция

HEAT INSULATION LIME COMPOUNDS FOR FINISHING AERATED CONCRETE WALLS

V.I. Loganina, M.V. Frolov

The article compares hydrophysical and mechanical properties of heat insulating lime coatings, filled with a variety of lightweight filler: hollow glass microspheres, microspheres aluminosilicate ash, expanded perlite sand, expanded vermiculite sand. High efficiency of hollow glass microspheres compared with other considered fillers is established.

Keywords: lime, hollow glass microspheres, microspheres aluminosilicate ash, expanded vermiculite sand, expanded perlite sand, calcium hydrosilicates, calcium aluminum silicates.

В нормативной документации [1, 2] для оштукатуривания стен из газобетона рекомендуется использовать отделочные составы, позволяющие получить покрытия со средней плотностью до 1300–1600 кг/м³. При отделке стен из газобетонных блоков марок D400-D600 штукатурными растворами со средней плотностью 1000–1600 кг/м³ возникает несоответствие показателей теплопроводности и паропроницаемости штукатурки и подложки, что может приводить к накоплению влаги в поверхностном слое стены. Следствием этого является снижение теплоизоляционных характеристик конструкции, разрушение и отслоение наружной отделки. При использовании теплоизоляционных ССС, позволяющих получить покрытия плотностью 600–800 кг/м³, исключается конденсация влаги, так как их паропроницаемость и теплопроводность, как правило, близка к паропроницаемости и теплопроводности газобетонных блоков марок D400-D600.

Используемые в настоящее время в большинстве теплоизоляционных ССС в качестве наполнителя вспученный перлитовый песок и вспученный вермикулитовый песок относятся к высокопористым материалам с высокой открытой микропористостью и влагоемкостью. Избыток воды затворения уменьшает прочность и водостойкость композитов на основе таких ССС и может вызвать расслоение отделочного раствора. Большой интерес вызывает использование в качестве наполнителей материалов с закрытой микропористостью – микросфер. Полые стеклянные микросферы и зольные микросферы алюмосиликатные применяют при разработке кладочных цементных растворов [3, 4].

Предварительно проведенные нами исследования позволили рекомендовать следующий состав ССС: известь-пушонка, модифицирующая добавка, белый цемент, молотый газобетон, пластифицирующая добавка, релаксируемый порошок, гидрофобизатор, легкий высокопористый наполнитель. Предложено использовать в качестве вяжущего известь-пушонку, так как композиты на ее основе имеют значительно большую паропроницаемость по сравнению с цементными композитами. Для повышения долговечности, влагостойкости и трещиностойкости отделочных известковых составов в рецептуру предложено вводить модифицирующую добавку на основе смеси гидросиликатов и алюмосиликатов кальция в количестве 10 % от массы извести [5, 6].

Сравнивались свойства предлагаемой ССС с различными легкими высокопористыми наполнителями: полыми стеклянными микросферами, зольными микросферами алюмосиликатными, вспученным вермикулитовым песком и вспученным перлитовым песком. Свойства легких высокопористых наполнителей представлены в табл. 1.

При наполнении растворного композита легкими высокопористыми составляющими снижается его прочность при сжатии и плотность. Для выбора наиболее эффективного наполнителя для разрабатываемой ССС и определения оптимального его содержания в разрабатываемом составе был проведен следующий эксперимент. Изготавливались образцы размером 2×2×2 см. Каждый наполнитель брался в количестве 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 % от массы извести. Все составы в начальный момент времени имели одинаковую пластическую прочность. Образцы твердели в воздушно-сухих условиях при температуре 18–20°C и относительной влажности 50–60 %. Спустя 28 суток твердения определялась прочность при сжатии и средняя плотность растворных композитов. Затем по формуле (1) определялась удельная прочность:

$$R_{уд} = \frac{R_{сж}}{\rho_{ср}}, \text{ м}^2 / \text{с}^2, \quad (1)$$

где $R_{уд}$ – удельная прочность, $\text{м}^2/\text{с}^2$; $R_{сж}$ – прочность при сжатии, Па; $\rho_{ср}$ – средняя плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Т а б л и ц а 1

Свойства легких наполнителей

Наименование материала	Насыпная плотность ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$	Размер частиц d , мм	Теплопроводность λ , Вт/м·К	Внешний вид
Полые стеклянные микросферы	140	0-0,1	0,07	Белый порошок, частицы идеальной сферической формы
Зольные микросферы алюмосиликатные	400	0-0,4	0,08	Серый порошок, частицы идеальной сферической формы
Вспученный вермикулитовый песок	150	0,14-1,25	0,10	Зернистый материал чешуйчатого строения
Вспученный перлитовый песок	150	0,14-0,63	0,08	Сыпучий зернистый материал

Результаты исследований приведены на рис. 1.

Композиты, наполненные стеклянными полыми микросферами, характеризуются наибольшей удельной прочностью по сравнению с композитами, наполненными другими наполнителями, при содержании наполнителя от 0 до 40 % (рис. 1, кривая 1). На данном участке наблюдается рост удельной прочности растворных композитов. При содержании полых стеклянных микросфер в составе ССС в количестве 40 % от массы извести прирост максимальный и составляет 10,5 %. Дальнейшее увеличение количества полых стеклянных микросфер вызывает сброс удельной прочности из-за нехватки вяжущего для создания устойчивого конгломерата. Включение в состав высокопористых наполнителей с высокой влагоемкостью приводит к снижению удельной прочности композитов. Использование вспученного перлитового песка в составе ССС в количестве 40 % от массы извести снижает удельную прочность на 26,2 % (рис. 1, кривая 4), использование вспученного вермикулитового песка в количестве 40 % от массы извести снижает удельную прочность на 38,4 % (рис. 1, кривая 3). Наполнение состава зольными микросферами алюмосиликатными не вызывает резкого изменения удельной прочности композитов.

Свойства покрытий с различными наполнителями значимо зависят от структуры порового пространства. Исследовалась структура порового пространства растворных композитов, наполненных высокопористыми наполнителями с высокой влагоемкостью. Результаты исследований представлены на рис. 2.

При использовании вспученного вермикулитового песка (рис. 2, кривая 4) и вспученного перлитового песка (рис. 2, кривая 1) общая пористость увеличивается с 60,8 до 80,2 и 72,4 % соответственно. Увеличение общей пористости в основном происходит за счет роста количества открытых пор, образующихся из-за высокой водопотребности данных наполнителей. Открытая пористость растворных композитов, наполненных вспученным вермикулитовым песком, увеличивается с 40,7 до 53,1 % (рис. 2, кривая 2), наполненных вспученным перлитовым песком – с 40,7 до 47,7 % (рис. 2, кривая 5). Прирост закрытой пористости менее значителен и происходит за счет высокой микропористости данных наполнителей.

Исследовалась структура порового пространства растворных композитов, наполненных микросферами. Результаты исследований представлены на рис. 3.

Наполнение растворного композита полыми стеклянными микросферами позволяет повысить общую пористость с 60,8 до 81,0 % (рис. 3, кривая 1). Наполнение зольными микросферами алюмосиликатными повышает общую пористость с 60,8 до 67,2 % (рис. 3, кривая 4). Рост общей пористости при использовании микросфер происходит за счет увеличения закрытой пористости из-за полостей структуры данных наполнителей. Закрытая пористость композитов, наполненных полыми стеклянными микросферами, увеличивается с 20,1 до 56,9 % (рис. 3, кривая 2), композитов, наполненных зольными микросферами алюмосиликатными, увеличивается с 20,1 до 40,0 % (рис. 3, кривая 6). Растворные композиты, наполненные микросферами, характеризовались меньшей открытой пористостью по сравнению с контрольными композитами. Увеличение закрытой пористости композитов способствует снижению теплопроводности покрытий.

Оценивалось влияние использованных в исследовании наполнителей на водостойкость, теплопроводность и паропроницаемость покрытий на основе разрабатываемой ССС. Наполнители брались в количестве 40 % от массы извести. Коэффициент теплопроводности λ отделочного состава в высушенном состоянии определялся на образцах размером 10×10×2,5 см с использованием прибора ИТП-МГ4 «100». Коэффициент паропроницаемости отделочного состава μ определялся по ГОСТ 25898-2012 «Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию».

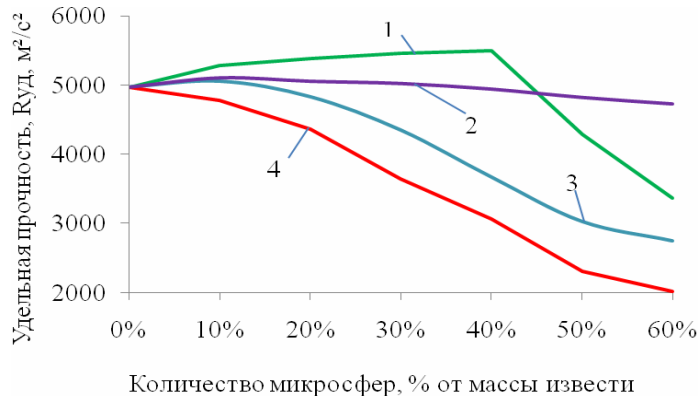


Рис. 1. Зависимость удельной прочности растворяемых композитов от содержания наполнителей:
 1 – полые стеклянные микрошары; 2 – золяные микрошары алюмосиликатные;
 3 – вспученный перлитовый песок; 4 – вспученный вермикулитовый песок

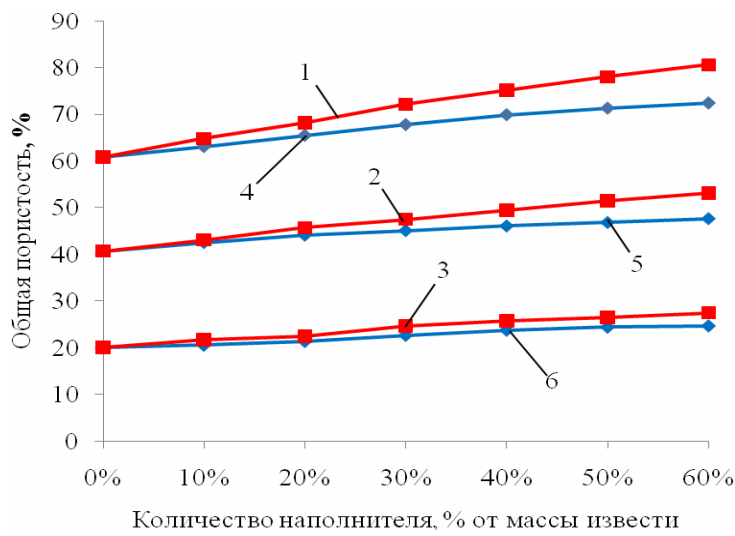


Рис. 2. Структура порового пространства растворяемых композитов, наполненных вспученным вермикулитовым песком (1, 2, 3) и вспученным перлитовым песком (4, 5, 6):
 1, 4 – общая пористость; 2, 5 – открытая пористость; 3, 6 – закрытая пористость

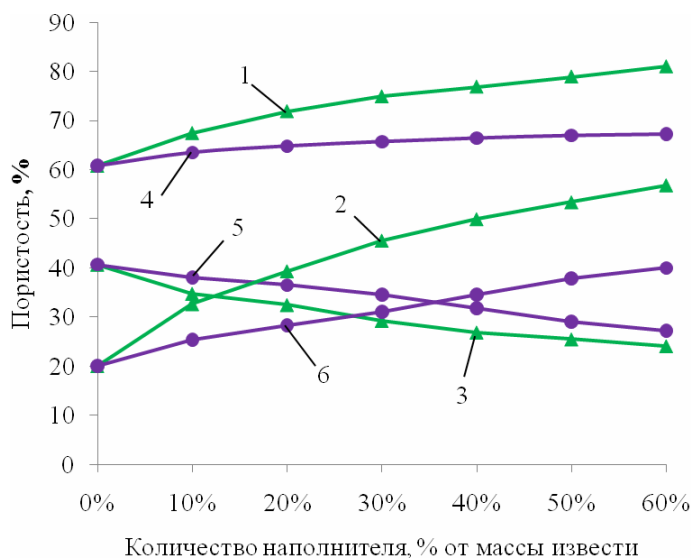


Рис. 3. Структура порового пространства растворяемых композитов, наполненных стеклянными полыми микрошарами (1, 2, 3) и золяными микрошарами алюмосиликатными (4, 5, 6):
 1, 4 – общая пористость; 2, 6 – закрытая пористость; 3, 5 – открытая пористость

Результаты исследования представлены в табл. 2.

Данные, приведенные в табл. 2, свидетельствуют, что композиты, наполненные вспученным вермикулитовым и перлитовым песком, имеют высокую паропроницаемость и низкую водостойкость. Это объясняется большим количеством открытых пор в структуре данных композитов. Композиты, наполненные зольными микросферами алюмосиликатными, имеют высокую прочность при сжатии, однако коэффициент теплопроводности составляет 0,176 Вт/м·К. Наименьшей средней плотностью и теплопроводностью обладают композиты, наполненные полыми стеклянными микросферами. Низкая по сравнению с другими композитами паропроницаемость объясняется малым количеством открытых пор в структуре данных покрытий.

Т а б л и ц а 2

Свойства растворных композитов

Наполнитель	Водозастывшее отношение, В/И	Средняя плотность, $\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³	Прочность при сжатии $R_{\text{сж}}$, МПа	Коэффициент размягчения, $K_{\text{разм}}$	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/м·ч·Па
Стеклянные полые микросферы	1,3	600	3,30	0,75	0,119	0,157
Зольные микросферы алюмосиликатные	1,07	860	4,25	0,77	0,176	0,164
Вспученный вермикулитовый песок	1,83	660	2,10	0,64	0,146	0,202
Вспученный перлитовый песок	1,52	800	2,97	0,68	0,161	0,186

Приведенные в работе данные показывают высокую эффективность применения полых стеклянных микросфер в теплоизоляционных штукатурных растворах, что позволяет рекомендовать разрабатываемую ССС для отделки газобетонных блоков марок D400-D600.

Список литературы

1. 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.
2. Руководство по наружной отделке стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения. 1 редакция. – Белгород: Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона, 2010. – 3 с.
3. Облегченный кладочный раствор / К.И. Кириллов, А.А. Пашкевич, Е.Г. Первушин, Д.В. Орешкин // Сб. докл. науч.-техн. конф. с межд. участием «Строительная физика в XXI веке». – М.: НИИСФ, 2006. – С. 134–139.
4. Кретьова, У.Е. Инновационный наполнитель для цементных систем – керамические микросферы / У.Е. Кретьова // Вестник МГСУ. – 2010. – №4. – С. 37–39.
5. Логанина, В.И. Тонкодисперсный наполнитель на основе силикатов кальция для известковых смесей / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – №5. – С.144–147.
6. Логанина, В.И. Известковое композиционное вяжущее с применением добавки на основе алюмосиликатного наполнителя / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, М.В. Фролов // Вестник Белгородского государственного университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – №6. – С.70–73.

References

1. 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. Introduction. 25.01.2007. – М.: Builders Association of Russia, 2007. – P.30.
2. Guidelines for outer wall decoration from cellular concrete blocks autoclaved. 1 edition. – Belgorod: National Association of autoclaved aerated concrete, 2010. – P. 3.
3. Lightweight masonry mortar / K.I. Kirillov, A.A. Pashkevich, E.G. Pervushin, D.V. Oreshkin // Coll. rep. Scientific and Technical. Conf. with int. participation «Building Physics in the XXI century». – М.: NIISF, 2006. – P. 134–139.
4. Kretova, C.U. Innovative filler for cement systems – ceramic microspheres / C.U. Kretova // Herald MSUCE. – 2010. – №4. – P. 37–39.
5. Loganina V.I. The fine filler based on calcium silicate for lime blends / V.I. Loganina, M.V. Frolov // Bulletin of Civil Engineers. – 2015. – №5. – P.144–147.
6. Loganina, V.I. Lime composite binder with additives based on aluminosilicate filler / V.I. Loganina, S.N. Kislitsyna, M.V. Frolov // Bulletin of the Belgorod State University Shukhov. – 2015. – №6. – P.70–73.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 69.059.032

*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»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Гарькин Игорь Николаевич
старший преподаватель 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 construction»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Garkin Igor Nikolaevich,
Senior Lecturer of the department
«Management quality and technology of
building production»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

ИСПЫТАНИЕ НЕРАЗРЕЗНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

К.К. Нежданов, И.Н. Гарькин

Рассматривается способ испытаний подкрановых балок на выносливость с помощью специально разработанных стендов, способных имитировать циклические воздействия на подкрановые конструкции.

Ключевые слова: подкрановая балка, стенд для испытаний, выносливость, циклические нагрузки

TEST OF CONTINUOUS CRANE BEAMS ENDURANCE

К.К. Nezhdanov, I.N. Garkin

A method of testing crane girders endurance with specially designed booths able to simulate cyclic impact on crane design.

Keywords: crane beam, test stand, endurance, cyclic loading

При расчёте подкрановых балок промышленных зданий и сооружений необходимо учитывать циклический характер динамических воздействий от мостовых кранов. Процесс накопления повреждений протекает постепенно. В подрельсовой зоне стенки подкрановой балки развиваются усталостные трещины, увеличивающие до опасного уровня возможность разрушения конструкций. Этот процесс обычно определяют как усталость металла, а соответствующее разрушение называют усталостным.

Возникновение усталостных разрушений имеет критический характер в областях промышленности, где аварии ведут к катастрофическим последствиям (например, в цехах цветной и черной металлургии или зданиях ТЭЦ). Проблема приобретает всё большее значение в связи с быстрым ветшанием промышленного фонда страны [1, 2].

Циклический характер сил, действующих на подкрановые конструкции, обуславливается локальной передачей воздействий от колёс крана (подвижные сосредоточенные вертикальные P^{loc} и горизонтальные T^{loc} силы; крутящие моменты $M_{кр}^{loc}$).

Воздействия возникают при движении с грузом, при подъёме и опускании грузов; в подрельсовой части балки возникает напряжённое состояние (зависит от положения колёс; действуют циклами). Это основная особенность динамических воздействий колёс кранов на подкрановые конструкции [3]. Смена циклов локальных напряжений в балке происходит при проходе каждого колеса крана на заданном интервале (накопление циклов зависит как от числа колёс крана, так и от интенсивности технологического процесса). Нередко кран совершает возвратно-поступательные перемещения, находясь на определённой части подкранового пути, поэтому накопление циклов перемен напряжений от динамических воздействий колёс во много раз больше, чем изгиба (происходит только при полной разгрузке балки).

Работа конструкции при циклических воздействиях в общем случае представляет собой асимметричный цикл (рис. 1); τ_m – среднее напряжение; A_τ – динамическая амплитудная составляющая напряжений при симметричном цикле τ_{-1} , $A_\tau=0,5$.

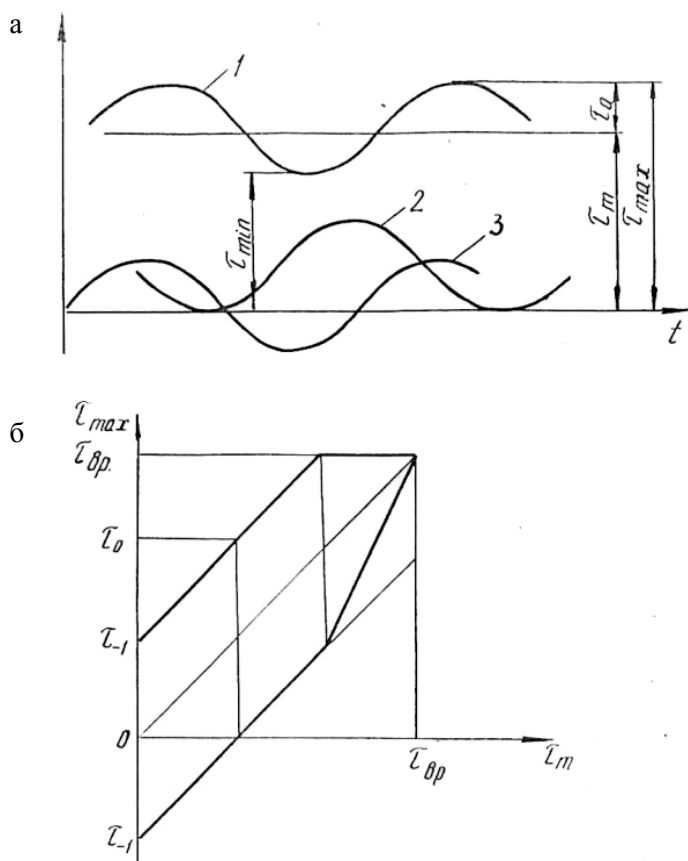


Рис. 1. Циклическое изменение напряжений сдвига:

- а – циклы симметричный (1), пульсирующий (2), асимметричный (3);
- б – связь максимальных τ_{max} и средних $\tau_{вр}$ напряжениях цикла

В асимметричном цикле на среднее напряжение $\tau_m = 0,5 (\tau_{max} + \tau_{min})$ наложен симметричный цикл с амплитудой $\tau_a = 0,5 (\tau_{max} - \tau_{min})$.

Известно [3], усталостные трещины прежде всего возникают от амплитудной составляющей (размах колебаний сдвигающих напряжений – $2\tau_a$). Амплитудные составляющие возникают при качении по рельсам колёс кранов. В подрельсовой зоне генерируются волны деформаций, движущихся вместе с колёсами крана (подтвердилось при многочисленных обследованиях); усталостные трещины концентрируются в подрельсовой зоне балок.

Для нормирования воздействий в сечениях подкрановых конструкций определялись воздействия мостовых кранов и несущая способность подкрановых балок при действии домкратов-пульсаторов. Определялись значения коэффициентов динамичности и сочетания воздействий; напряжённое состояние стенок двутавровых балок (использовались в соответствующих разделах СНиП «Нагрузки и воздействия»). Это позволило экспериментально и теоретически исследовать крупные модели подкрановых балок при динамических воздействиях; домкраты-пульсаторы создавали силы в фиксированных сечениях (не перемещаются вдоль балки).

Как оказалось, усталостные трещины возникают при высоком уровне напряжений, близких к *пределу текучести* стали (при низком уровне локальных напряжений $\sigma_y^{loc} \approx 130...160$ МПа в упругой области работы стали; характерно для усталостных испытаний).

Домкрат-пульсатор работал в фиксированном сечении; локальные воздействия возникали в малом объёме стали. Перемещаясь возвратно-поступательно, колёса вызывали циклические сдвиги при значительном количестве микродефектов как очагов зарождения усталостных трещин (сталь неоднородна; имеются микровключения, поры, дислокации). Возникновение усталостных трещин во много раз *увеличивается* по сравнению с действием домкрата-пульсатора в одном из фиксированных сечений.

Очевидна необходимость в стендах, имитирующих действительную работу мостовых кранов, с целью повышения выносливости подкрановых конструкций. При испытании балок на выносливость предполагается:

- действительное отображение циклических воздействий при движении колёс мостовых кранов с тяжёлыми режимами работы 7К, 8К;
- высокая скорость накопления циклов;
- подрельсовая зона балок, повреждаемая усталостными трещинами, подвергается возвратно-поступательным воздействиям колёс с такой амплитудой, чтобы эта зона полностью разгружалась от переменного поля колебаний локальных сдвигающих напряжений;
- высокая производительность испытаний и идентичность условия нагружения нескольких балок;
- стабильность воздействия колёс независимо от их местонахождения на балке (обеспечение достоверности испытаний);
- лёгкость монтажа и демонтажа балок и удобство их расположения для осмотра и наклейки тензорезисторов;
- высокая надёжностью и стабильность работы.

В лаборатории «Выносливость подкрановых балок» ФГОБУ «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» действует стенд (№ 840679; рис.2), имитирующий работу мостовых кранов с тяжёлыми режимами работы (рук. проф. К.К. Нежданов [4, 5]). Стенд состоит из верхних 1, 2 и нижних 3, 4 испытываемых балок, стянутых между собой посредством пружин 5, тяг 6, поперечных балок 7 и гаек 8. На балках 1...4 закрепляются рельсы 9. Система четырёх балок подвешивается через шарниры 10 к опорным стойкам 11. На валу 12 насажена внутренняя 13 и наружная 14 пары колёс. Колёса зажаты между балками и взаимодействуют с ними через рельсы 9. Двигатель 15 посредством шатуна 16, маховой пары 17 и редуктора 18 приводит блок нагрузочных колёс 12 в возвратно-поступательные движения, имитируя воздействия мостовых кранов. Величина локальных воздействий колёс контролируется посредством динамометров, вмонтированных в тяги.

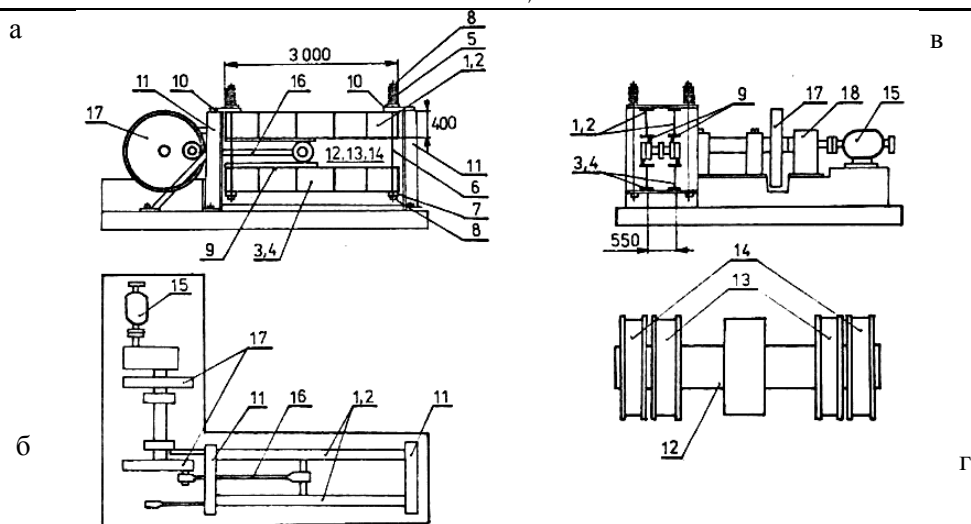


Рис. 2. Стенд для испытания подкрановых балок:

- а – общий вид стенда; б – план; в – разрез А–А; г – блок нагрузочных колёс;
- 1, 2 – верхние испытываемые балки; 3, 4 – нижние испытываемые балки; 5 – пружины;
 6 – тяги, сжимающие испытываемые балки друг с другом; 7 – поперечные балки, соединяющие испытываемые балки друг с другом; 8 – натягающие гайки; 9 – рельсы, закреплённые на балках 1, 2, 3, 4; 10 – листовые шарниры, посредством которых подвешены испытываемые балки; 11 – опорные стойки; 12 – вал, на котором насажена на шпонках внутренняя пара колёс 13; 14 – наружная пара колёс на роликовых подшипниках; 15 – электрический двигатель; 16 – шатун; 17 – маховая пара колёс; 18 – редуктор, понижающий число оборотов электрического двигателя; 19 – динамометры, вмонтированные в тяги и контролирующие воздействия колёс

Стенд имеет преимущества по сравнению с известным стендом М.М. Гохберга [6]:

- обладает высокой производительностью $3600 \cdot 24 \cdot 4 = 345600$ циклов в сутки;
- обеспечивает автоматический круглосуточный режим работы;
- имеет многократную защиту для отключения в аварийных ситуациях;
- позволяет одновременное испытание до четырех подкрановых балок в 1/2 натуральной величины ($3000 \cdot 400 \cdot 200$ мм) в идентичных условиях нагружения;
- гарантирует стабильность вертикальных воздействий колёс P^{loc} на балки (стабильность обеспечивается регулировкой уклона между нижними и верхними балками); P^{loc} устанавливается с точностью до $\pm 5\%$.

Используемая современная измерительная аппаратура позволяет фиксировать переменные локальные деформации, возникающие в повреждаемой усталостными трещинами подрельсовой зоне балок (возможность получения полной картины колебаний в подрельсовой зоне).

После ряда усовершенствований стенд уже позволяет имитировать и горизонтальные воздействия T^{loc} мостовых кранов (косой изгиб, рис. 3).

Напомним, что стенд (рис.4) для испытания балок подвижной нагрузкой в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко обладал следующими характеристиками:

- теоретическая производительность – $50 \cdot 60 \cdot 24 = 72000$ циклов в сутки, фактическая – $50 \cdot 60 \cdot 8 = 24000$ циклов в сутки (в 14,4 раза меньше, чем у стенда ПГУАС);
- возможность одновременного испытания только одной балки (невозможность добиться идентичности испытаний);
- большой разброс локального воздействия колёс P^{loc} .

Отметим, что в реальных условиях балки работают на косой изгиб (изгибаются как в плоскости стенки, так и в плоскости верхнего пояса балки). В указанных действующих стендах подвижные горизонтальные воздействия T^{loc} не имитировались.

Для совершенствования конструкций подкрановых балок в настоящее время в расширенном масштабе проводятся модельные испытания балок из уголков, соединённых со стенкой высокоресурсными болтовыми соединениями.

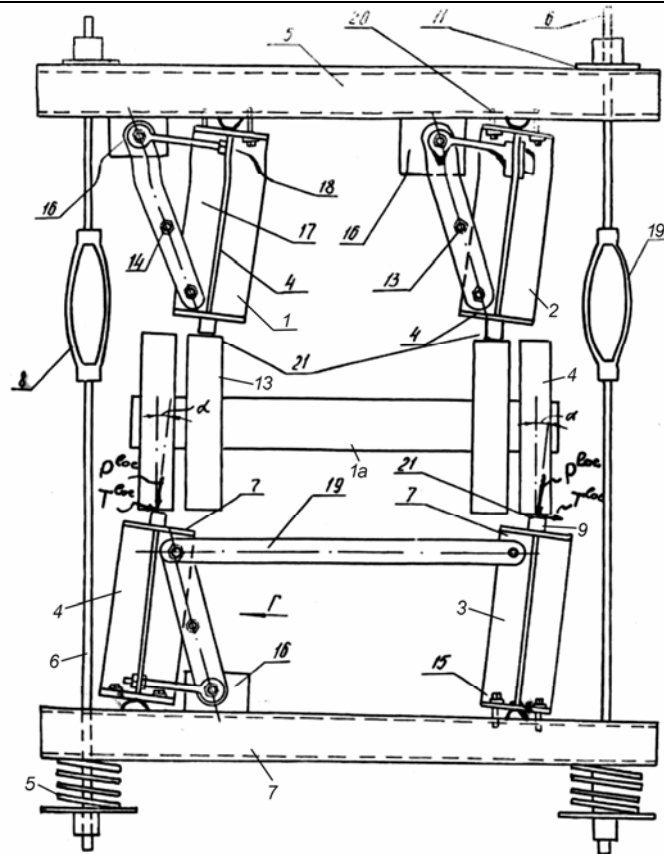


Рис. 3. Стенд №1677583, разрез А-А – имитация горизонтальных воздействий T^{loc} :

1, 2 – верхние испытываемые балки; 3, 4 – нижние балки; 5 – пружины; 6 – тяги, сжимающие испытываемые балки друг с другом; 7 – поперечные балки, соединяющие испытываемые балки друг с другом; 8 – натягающие гайки; 9 – рельсы, закреплённые на балках 1, 2, 3, 4; 12 – вал, на котором насажена на шпонках внутренняя пара колёс 13; 14 – наружная пара колёс на роликовых подшипниках; 19 – динамометры, вмонтированные в тяги и контролирующие воздействия колёс

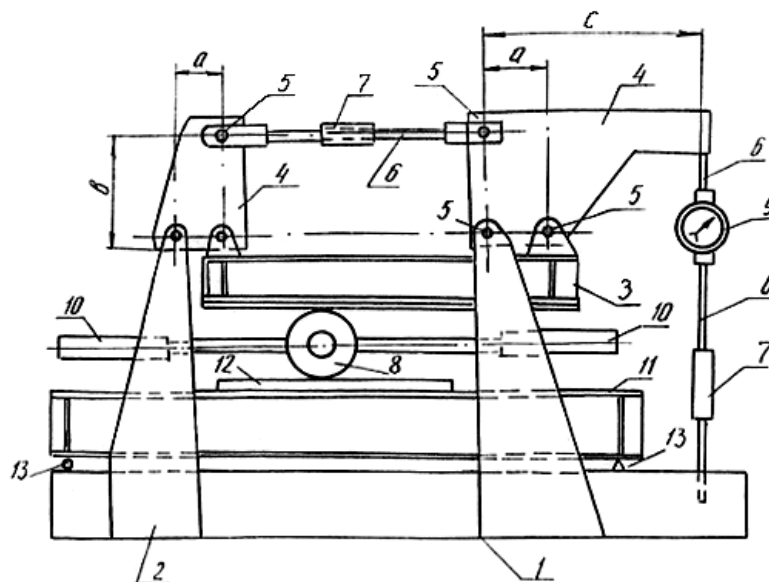


Рис. 4. Установка для испытания балок подвижной нагрузкой (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко):

1 – рама установки; 2 – вертикальные опоры; 3 – опорные балки (две);
4 – элементы, передающие нагрузку; 5 – шарниры; 6 – тяги; 7 – регулировочные талрепы;
8 – нагружающий блок колёс (три); 9 – динамометр; 10 – испытываемая балка (одна);
12 – рельс; 13 – опоры балки

Выводы:

1. Предлагается конструкция стенда, позволяющая имитацию реальных воздействий мостовых кранов в лабораторных условиях.
2. Ряд модернизаций стенда ПГУАС позволил существенно увеличить производительность стенда (возможность одновременной имитации за одну закладку воздействий на 10 балок).

Список литературы

1. Garkin, I.N. Systems approach to technical expertise construction of buildings and facilities / I.N. Garkin, I.A. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8. – № 5. – P. 213–217. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5114>.
2. Нежданов, К.К. Применение двухстенчатых подкрановых балок с амортизирующим эффектом / К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин // *Региональная архитектура и строительство*. – 2013. – № 3. – С. 91–94.
3. Кикин, А.И. Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий / А.И. Кикин [и др.]; под ред. А.И. Кикина. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1984. – 302 с.
4. Нежданов, К.К. Совершенствование подкрановых конструкций и методов их расчёта: моногр./ К.К. Нежданов. – Пенза: ПГУАС, 2008. – 288 с.
5. Нежданов, К.К. Трёхглавый рельсовый блок для подкрановых балок / К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин // *Региональная архитектура и строительство*. – 2012. – № 1. – С. 66–68.
6. Гохберг, М.М. Справочник по кранам: в 2 т. Т.1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / М.М. Гохберг. – М.: Машиностроение, 1988. – 536 с. Т.2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов. – Л.: Машиностроение, 1988. – 559 с.

References

1. Garkin, I.N. Systems approach to technical expertise construction of buildings and facilities / I.N. Garkin, I.A. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8. – № 5. – P. 213–217. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5114>.
2. Nezhdanov, K.K. Application dvuhstenchatyh crane girders with dampening effect / K.K. Nezhdanov, A.A. Kuzmishkin, I.N. Garkin // *Regional architecture and engineering*. – 2013. – № 3. – P. 91–94.
3. Kikin A. I. Increased durability of metal structures of industrial buildings. 2nd ed. / A. I. Kikin [etc.]; ed. A.I. Kikin. – M.: Sroyizdat, 1984. – 302 p.
4. Nezhdanov, K.K. Improving the crane structures and methods of their calculation: monograph / K.K. Nezhdanov. – Penza: PGUAS, 2008. – 288 p.
5. Nezhdanov, K.K. Three-headed rail unit for crane girders effect / K.K. Nezhdanov, A.A. Kuzmishkin, I.N. Garkin // *Regional architecture and engineering*. – 2012. – №1. – P. 66–68.
6. Hochberg, M. Reference cranes: The 2m. T.I. Characteristics of materials and loads. Bases for design of cranes, their drives and metal constructions / M. Hochberg. – M.: Engineering, 1988. – 536 p. V.2. Specifications and design schemes cranes. Crane mechanisms, their parts and components. Technical operation of cranes. – L.: Engineering, 1988. – 559 p.

УДК 624.012.

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

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

Мищенко Вера Николаевна,
кандидат технических наук

Снежкина Ольга Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Математика и математическое
моделирование»
E-mail: o.v.snejkina@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

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

Mishchenko Vera Nikolaevna,
Candidate of Sciences

Snezhkina Olga Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Mathematics and
mathematical modeling»
E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

СХЕМЫ РАЗРУШЕНИЯ И ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ РОСТВЕРКОВ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПОД КОЛОННЫ

Ю.П. Скачков, В.Н. Мищенко, О.В. Снежкина

По результатам экспериментальных исследований определены схемы разрушения и трещинообразования ростверков свайных фундаментов под колонны при изменении пролета среза от 0,35 до 1,25.

Ключевые слова: железобетонные ростверки свайных фундаментов, изменение пролета среза, схемы разрушения и трещинообразования, прочность, трещиностойкость

SCHEME OF DESTRUCTION AND CRACKING OF PILE CAPS IN PILE FOUNDATIONS UNDER COLUMNS

Y.P. Skachkov, V.N. Mishchenko, O.V. Snezhkina

According to the results of pilot study the scheme of destruction and cracking pile caps in pile foundations under the columns at the change of span from 0.35 to 1.25.

Keywords: reinforced concrete raft foundations, pile foundations, changing the span of the slice, schemes of destruction and cracking, strength, crack resistance.

Приводятся результаты натурных исследований ростверков свайных фундаментов под колонны. Актуальность комплексной программы исследований определяется отсутствием в Нормах проектирования рекомендаций по оценке прочности и трещиностойкости ростверков. В практике проектирования используются приближенные методы расчета, которые базируются на балочной аналогии и не отражают физическую работу ростверков, а в некоторых случаях не обеспечивают безопасность и не имеют достаточного экспериментального обоснования. В результате конструктивные решения ростверков являются весьма несовершенными, нерационально используются в работе материалы – бетон и арматура.

Проведено две серии исследований. В первой серии менялась высота, во второй – длина образцов (шаг свай). Целью исследований являлось совершенствование методов расчета прочности и трещиностойкости ростверков свайных фундаментов под колонны при изменении пролета среза a/h_0 от 0,35 до 1,25.

Проектирование опытных образцов ростверков при изменении высоты (серия I).

Опытные образцы серии I проектировались в плане с размерами 75×75 см. Исследуемым фактором являлась высота образцов, которая изменялась от 18 до 64,3 см. Общее количество образцов данной серии – 3 штуки (P1, P2, P3). Все опытные образцы имели единую схему армирования в виде сетки с использованием арматуры 16Ø16 А3. На рис. 1 показаны опалубочные размеры и схема армирования опытных образцов.

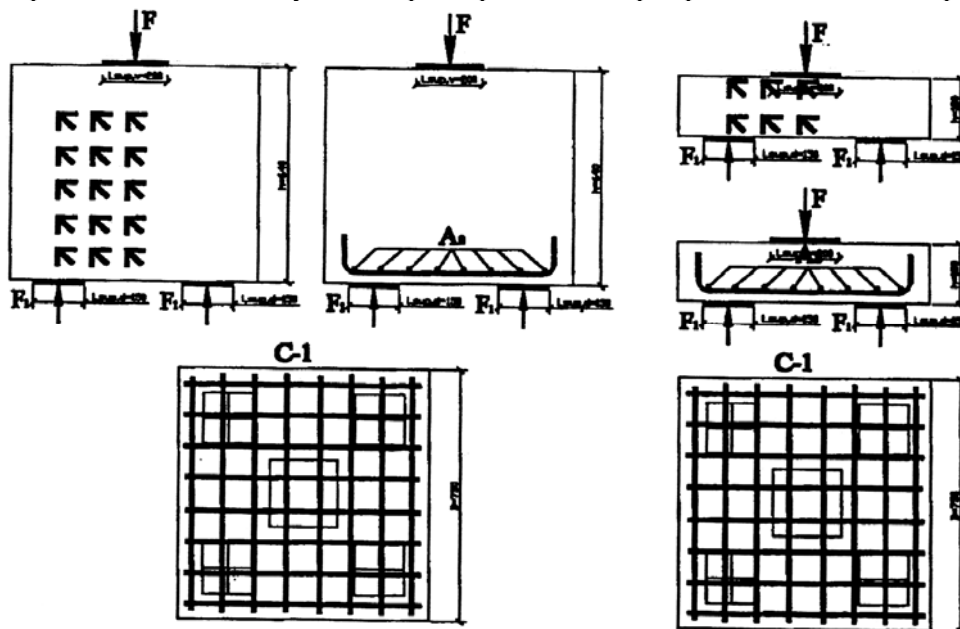


Рис. 1. Виды опытных образцов ростверков

Проектирование опытных образцов ростверков с различным шагом свай (серия II).

Опытные образцы серии II проектировались с постоянной высотой 30 см. Исследуемым фактором являлась длина образцов, которая изменялась от 54 до 105 см. Общее количество образцов этой серии – 3 штуки (P1, P4, P5). Опытные образцы серии II имели схему армирования, аналогичную серии I. Все опытные образцы изготавливались на заводе «Стройдеталь №1» г. Пензы (см. таблицу).

Характеристики опытных образцов ростверков

№	Серия образцов	Марка образцов	Б Е Т О Н			Геометрические размеры		
			$R_b \times 10^3$, МПа	$E_b \times 10^3$, МПа	$R_{bt} \times 10^3$, МПа	L, мм	h, мм	$l_{sup1} \times l_{sup2}$, мм×мм
1	1	P-4	16,9	24,4	1,19	510	300	15×15
2	1	P-1	18,9	25,6	1,28	750	300	15×15
3	1	P-5	18,9	25,6	1,28	1050	300	15×15
4	2	P-2	16,9	24,4	1,19	750	180	15×15
5	2	P-3	16,9	24,4	1,19	750	645	15×15

Методика испытаний. Силовая установка представляла собой две металлические рамы, состоящие из боковых стоек, закрепленных в ручьях силового пола, и поперечных балок – траверс, жестко соединенных со стойками. Нагружение ростверков производилось гидравлическим домкратом ДГ-200, имитирующим передачу нагрузки от колонны. Свай-опоры имитировались шарнирно-опертыми пластинами-площадками с размерами 15×15 см.

Испытания проводились в следующем порядке:

- выполнялись зачистка и побелка поверхности бетона образцов для визуального наблюдения за образованием и развитием трещин;

- тензодатчики наклеивались на бетонное поле и нижние стержни продольной арматуры. На рис. 1 показаны схемы расположения датчиков;
- нагружение производилось поэтапно по 5–10 % от предполагаемой разрушающей нагрузки.

Характер трещинообразования опытных образцов при изменении высоты ростверков (P-1, P-2, P-3). При изменении высоты ростверка от 18 до 64,3 см при постоянной длине и ширине исследовалось влияние изменения пролета среза a/h от 0,35 до 1,25 на прочность и трещиностойкость образцов. Рассмотрим результаты испытаний.

В образце P-1 ($a/h_0=0,75$) первой образовалась вертикальная трещина Т-Р в растянутой зоне при нагрузке $F=0,4F_{\text{разр}}$. Высота трещины составила 0,3 высоты ростверка (рис.2).

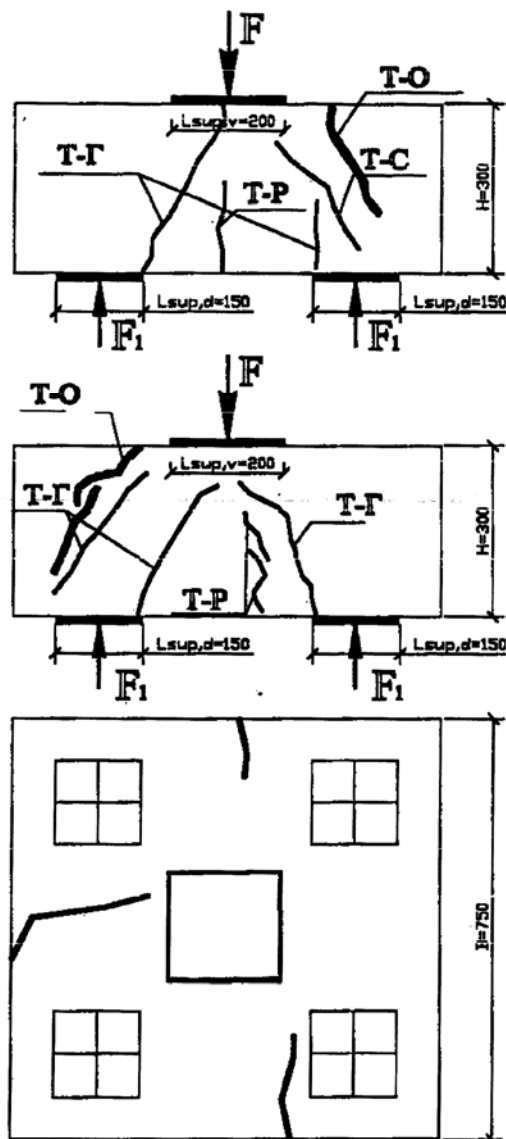


Рис. 2. Характер трещинообразования образца P-1

С дальнейшим ростом нагрузки ($F=0,6F_{\text{разр}}$) наклонные трещины Т-С образовали наклонные сжатые участки бетона с внутренней и внешней стороны, а в бетоне растянутой зоны появились новые вертикальные трещины типа Т-Р. При нагрузке $F=0,7F_{\text{разр}}$ происходило активное образование наклонных трещин типа Т-Г, выделяющих сжатые участки бетона, расположенные между грузовой и опорными площадками (с внешней стороны). При нагрузке, примерно равной $F=0,8-0,9F_{\text{разр}}$, в бетоне сжатого наклонного участка стали появляться серии наклонных трещин, характерных при

раздавливании бетона. Эта серия трещин быстро увеличивалась с ростом нагрузки. Ширина трещин Т-Г с внутренней и внешней стороны составила 0,1 мм.

В образце Р-2 ($a/h_0=0,35$) первыми образовались две–три вертикальные трещины Т-Р при нагрузке $F=0,7F_{\text{разр}}$ в растянутом бетоне нижней грани длиной, равной половине высоты образца. При нагрузке $F=0,9F_{\text{разр}}$ появились граничные трещины, выделяющие сжатую зону с внешней и внутренней стороны. К моменту разрушения наклонные вертикальные трещины объединились и достигли верхней грани образца. При этом наклонные трещины, выделяющие сжатую зону с внутренней стороны, образовали дугообразную траекторию.

В образце Р-3 ($a/h_0=0,35$) вертикальные трещины в растянутом бетоне не образовались. Наклонные трещины Т-С появились внутри сжатой зоны бетона над опорами при нагрузке $F=0,57F_{\text{разр}}$, прерывистые трещины над опорами располагались по наклонной траектории. При нагрузке $F=0,9F_{\text{разр}}$ длина наклонных трещин Т-С увеличивалась, над левой и правой опорами образовалось дугообразное очертание граничной трещины Т-Г (высота «дуги» примерно в три раза больше аналогичной высоты в образце Р-2). При разрушении молниеносно произошло разделение тела ростверка на 4 участка-лепестка. Максимальная ширина раскрытия наклонных трещин, образующих дугообразную траекторию, составляла 2 мм. К моменту разрушения траектории трещин, выходящих на каждую из четырех поверхностей образца Р-3, были различны и изменялись от вертикальной до диагональной.

Характер трещинообразования опытных образцов при изменении шага свай (Р-1, Р-4, Р-5). При изменении длины ростверка от 51 до 105 см при постоянной высоте исследовалось влияние изменения пролета среза a/h от 0,35 до 1,25 на прочность и трещиностойкость образцов.

Характер трещинообразования образца Р-1 описан выше.

В образце Р-4 ($a/h_0=0,35$) первой образовалась вертикальная трещина Т-Р между опорными площадками при $F=0,6F_{\text{разр}}$. Трещина Т-Р росла почти вертикально пропорционально росту нагрузки. При нагрузке $F=0,73F_{\text{разр}}$ рост трещины Т-Р прекратился, ширина составила 0,3 мм.

При нагрузке, приблизительно равной $0,65 - 0,7F_{\text{разр}}$, появилась серия трещин над опорой-свайей, а также у внешней части грузовой площадки. Наиболее характерными из них являются граничные трещины Т-Г, выделяющие поток главных сжимающих напряжений с внешней стороны между грузовыми и опорными площадками. Ширина раскрытия трещин составила 0,02 мм. С дальнейшим ростом нагрузки увеличивалось как количество трещин, так и длина ранее образовавшихся в бетоне ростверка трещин на участках между грузовыми и опорными площадками. Заметим, что в данном образце грани грузовых и опорных площадок заходят друг на друга и имеет место «нахлест». В результате траектории наклонных трещин с ростом нагрузки выпрямлялись и располагались на боковых поверхностях между гранями опорных и грузовых площадок.

В образце Р-5 ($a/h_0=1,25$) при нагрузке $F=0,4-0,5F_{\text{разр}}$ первыми образовались вертикальные трещины Т-Р в растянутой зоне и с ростом нагрузки росли незначительно. При разрушении их высота составила примерно 2/3 высоты ростверка. Ширина раскрытия трещин Т-Р незначительная. При нагрузке $F=0,83F_{\text{разр}}$ появилась серия трещин, которые располагались как по граням наклонной полосы сжатого бетона Т-Г, так и внутри его – Т-С. С дальнейшим ростом нагрузки увеличивалось количество наклонных трещин. Характер этих трещин был прерывистым, то есть образовывались короткие наклонные трещины. Одновременно с ростом нагрузки значительно увеличивались по своей ширине и длине ранее образовавшиеся наклонные трещины Т-Г и Т-С. При нагрузке $F=0,92F_{\text{разр}}$ широко раскрылись магистральные трещины, с шириной раскрытия $a_{\text{ср}}=2$ мм, сливаясь в единую дугообразную трещину.

Схема разрушения образцов ростверков

Анализ характера разрушения образцов серии I (ростверки с высотой $h = 18$ см, 30 см, 64,5 см). Схема разрушения базового образца Р-1 показана на рис. 2. Последовательность разрушения образцов Р-2 и Р-3 одинакова: наклонные трещины, выделяю-

щие сжатые участки, образовывали конусообразную поверхность растянутой зоны ростверка; к моменту разрушения широко раскрывались наклонные трещины над конусообразной поверхностью (ширина их раскрытия составляла 0,5 мм).

Анализируя характер разрушения образцов серии II (*ростверки с шагом свай $a=10,5$ см, $22,5$ см, $37,5$ см*), следует отметить, что разрушение во всех образцах происходило по наклонным сжатым полосам бетона, расположенным между грузовой площадкой и четырьмя опорными площадками.

При определении схем разрушения возник ряд трудностей, которые связаны с тем, что наклонные сжатые полосы бетона, идущие от свай-опор к грузовой площадке – колонне, уходят в глубь тела ростверка (в связи с этим очень трудно проанализировать скрытые формы разрушения). Кроме того, следует отметить, что накопившиеся деформации и повреждения внутри ростверка выходят на поверхность лишь при нагрузках, близких к разрушающим. Характерная схема разрушения приведена на рис.2 ростверка Р-1. При разрушении четко выделились наклонные сжатые полосы бетона, пространственно ориентированные от опорных площадок к грузовой площадке.

Выводы

1. На основе проведенных экспериментальных исследований произведена классификация трещин в ростверках свайных фундаментов под колонны. Выделены три вида характерных трещин – вертикальные трещины в растянутой зоне Т-Р, наклонные трещины Т-Г (выделяющие участки бетона, в пределах которых концентрируются сжимающие напряжения), трещины в сжатой зоне – Т-С.

2. Во всех образцах первыми появляются трещины в растянутой зоне в пролете между опорами-сваями при нагрузке $F=0,4-0,6F_{\text{разр}}$. Затем при нагрузке $F=0,55-0,8F_{\text{разр}}$ образуются трещины, которые выделяют сжатый поток с внутренней и внешней стороны опоры-свай. Внутри сжатого потока трещины появлялись при нагрузке, близкой к разрушающей $F=0,8-0,95F_{\text{разр}}$.

3. Выявлены три схемы разрушения – по сжатой зоне бетона, расположенной между грузовой и опорной площадкой, по растянутой зоне, по горизонтальному арматурному поясу, смешанное разрушение (совместное разрушение по сжатой и растянутой зонам).

4. Определено влияние пролета среза на работу ростверка при изменении шага свай: прочность ростверков возрастает в 1,2 раза с увеличением пролета среза a/h_0 от 0,35 до 0,75 и уменьшается в 1,4 раза с увеличением пролета среза a/h_0 от 0,75 до 1,25.

5. Определено влияние пролета среза на работу ростверка при изменении высоты ростверка: при увеличении a/h_0 от 0,35 до 1,25 прочность ростверков снижается в 1,3 раза.

6. При сопоставлении образцов серий I и II установлено, что закономерности изменения разрушающих усилий при изменении пролета среза различны. Максимальное значение разрушающей силы в серии образцов Р-4, Р-1, Р-5 имеет базовый образец Р-1 с пролетом среза $a/h_0=0,75$; в серии образцов Р-3, Р-1, Р-2, наоборот, наибольшее значение разрушающей силы имеет образец Р-3 с пролетом среза $a/h_0=0,35$. Наименьшее значение разрушающей силы в сериях I и II имеют образцы Р-2 и Р-5 с пролетом среза $a/h_0=1,25$.

7. Определен характер напряженно-деформированного состояния ростверков. Выделены характерные сжатые участки бетона, расположенные между грузовой и опорными площадками, в пределах которых концентрируются максимальные сжимающие напряжения, зоны бетона с наименьшими (или нулевыми) напряжениями, расположенными у верхней грани ростверка (над сжатыми участками бетона), растянутая зона, в пределах которой концентрируются максимальные растягивающие напряжения, расположенные между сжатыми участками у нижней грани ростверка.

Список литературы

1. Определение схем разрушения и трещинообразования коротких железобетонных балок по экспериментальным данным / Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 74–81.
2. Моделирование работы коротких железобетонных балок / Т.И. Баранова, Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, Р.А. Ладин // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2014. – № 2 (36). – С. 54–60.
3. Снежкина, О.В. Оценка каркасно-стержневых моделей для определения трещиностойкости балок / О.В. Снежкина, Ю.П. Скачков, Р.А. Ладин // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 101–104.
4. Снежкина, О.В. Оценка прочности железобетонных балок со средним пролетом среза / О.В. Снежкина, Ю.П. Скачков, А.А. Киселев // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 1. – С. 110–115.
5. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A.Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 5. – P.219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>.
6. Danilov, A. Coherence function in analysis and synthesis of complex systems / A.Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 9. – P.375–380. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5236>.
7. Shein, A.I. Numerical study of short reinforced concrete beams / A.I. Shein, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 9. – P. 361–365. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5246>.
8. Корнюхин, А.В. Экспериментально-теоретические исследования толстых плит: монография / А.В. Корнюхин, М.В. Кочеткова, О.В. Снежкина. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 132 с.

References

1. Definition of schemes and destruction cracking short concrete beams experimental data / Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, M.V. Kochetkova, A.V. Kornyuhin // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 3. – P. 74–81.
2. Modeling work of short reinforced concrete beams / T.I. Baranova, Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // Journal of Siberian Russian state automobile and road Academy. – 2014. – No. 2 (36). – P. 54–60.
3. Snezhkina, O.V. Estimation of frame-and-rod models for the determination of fracture toughness of beams / O.V. Snezhkina, Y.P. Skachkov, R.A. Ladin // Regional architecture and engineering. – 2015. – No. 1. – P. 101–104.
4. Snezhkina, O.V. Assessment of the strength of reinforced concrete beams with an average span of cut / O.V. Snezhkina, Y.P. Skachkov, A.A. Kiselev // Regional architecture and construction. – 2016. – No. 1. – P. 110–115.
5. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A.Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 5. – P.219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>.
6. Danilov, A. Coherence function in analysis and synthesis of complex systems / A.Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 9. – P.375–380. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5236>.
7. Shein, A.I. Numerical study of short reinforced concrete beams / A.I. Shein, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8. – № 9. – P. 361–365. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5246>.
8. Kornyuhin, A.V. Experimental and theoretical investigation of thick plates: monography / A.V. Kornyuhin, M.V. Kochetkova, O.V. Snezhkina. – Penza: PGUAS, 2013. – 132 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

Вдовин Вячеслав Михайлович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Vdovin Vyacheslav Mikhailovich,
Candidate of Sciences, Professor of the
department «Building construction»

КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КРОВЕЛЬНЫХ ШИТОВ ПОЛНОСБОРНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ

В.М. Вдовин

Даются обоснования прочностных требований к клеевым соединениям элементов кровельных щитов полносборных деревянных домов и определяются прочностные критерии на основе максимального уровня напряжений в процессе эксплуатации жилых домов.

Ключевые слова: клеевое соединение, клеевой шов, оценка качества, кровельный щит, полносборный дом

STRENGTH CRITERIA OF GLUE CONNECTIONS OF ROOFING BOARDS ELEMENTS IN PREFABRICATED WOODEN HOUSES

V.M. Vdovin

Gives strength substantiation requirements for adhesive connection of elements of roofing panels prefabrication of wooden houses and strength criteria defined on the basis of the maximum stress level in the operation of apartment houses are given.

Keywords: adhesive bonding, adhesive joint, quality assessment, roofing panel, prefabrication home

Современный полносборный деревянный дом собирается из небольшого числа крупных индустриальных конструкций. Такие конструкции состоят из деревянных несущих рёбер и обшивочных элементов, выполненных из древесноплитных материалов. С целью увеличения несущей способности и жёсткости конструкций соединение несущих рёбер и обшивок желательно выполнять на клею. Клеевые соединения в процессе производства таких конструкций не только обеспечивают технологический процесс по соединению рёбер и обшивок во время поточного изготовления, но и создают их совместную работу как единой конструкции. При этом клеевые соединения должны обладать достаточной прочностью и долговечностью в соответствии с эксплуатационной надёжностью всего дома. Современные требования к прочности клеевых швов в таких случаях предусматривают, чтобы прочность их была не ниже минимальной прочности соединяемых материалов (в частности прочности древесины на скалывание вдоль волокон). Однако, на наш взгляд, технические требования к клеевым швам должны исходить из действительной работы конструкции и уровня напряжений в самих швах в процессе изготовления, транспортировки, монтажа и эксплуатации дома.

Распространение современных требований на клеевые соединения конструкций полносборных деревянных домов было бы не совсем корректным, поскольку уровни напряжённого состояния клеевых швов в конструкциях полносборного дома различны и значительно меньше, чем в несущих клеёных деревянных конструкциях балок, арок или рам. Выполнение же клеевых соединений с высокой прочностью и надёжностью потребует применения высококачественных и дорогих компонентов клея и более тщательного соблюдения технологии их изготовления.

Регламентируемая прочность клеевых швов кровельных щитов должна определяться как минимальная величина, при которой кровельные щиты достигают предельного состояния, исходя из совместной работы несущих рёбер и обшивки на действующие напряжения. При этом, естественно, должны быть учтены статистическая изменчивость рассматриваемых величин и степень доверительной надёжности работы конструкций. Указанные обстоятельства положены в основу ниже рекомендуемых требований к прочности клеевых швов кровельных щитов полносборных деревянных домов.

Аналізу подвергались кровельные щиты, наиболее нагруженные от действия внешних нагрузок в процессе эксплуатации дома. При этом не учитывались температурно-влажностные воздействия, поскольку для древесины и древесных материалов температурные деформации невелики, а деформации и напряжения, вызванные изменением влажности, в значительной степени гасятся конструктивными мерами путём устранения или недопущения подобных деформаций и напряжений в процессе эксплуатации дома.

Поскольку кровельные щиты относятся к конструкциям, наиболее нагруженным в системе полносборного дома и работающим на восприятие изгибающих моментов, продольных и поперечных сил, наличие надёжных и качественных клеевых швов для них очень важно. Два таких щита, расставленные наклонно друг к другу и соответствующим образом раскреплённые в опорных и коньковом узлах, образуют трёхшарнирную треугольную распорную систему. Более подробное описание крыши дома из таких щитов дается в [1]. За расчётную схему при определении наибольших усилий в кровельных щитах принималась статически неопределимая треугольная система с затяжкой, подверженная воздействию постоянных, снеговых и ветровых нагрузок.

Величины и характер действующих нагрузок принимались согласно СНиП 2.01.07.-85* (актуализированный вариант) «Нагрузки и воздействия» с учётом реальной конструктивной схемы полносборного дома. При этом рассматривалось несколько серий домов, запроектированных с мансардой и без мансарды. Все нагрузки подсчитывались на условную ширину дома, равную 2,4 м (по размеру ширины кровельного щита).

Для рассматриваемой конструктивной схемы стропильной системы были подсчитаны величины расчётных усилий M , N и Q при изменении параметров L (величина пролёта), α (угол наклона стропильной системы) и величин нагрузок q (постоянная, снеговая и ветровая – по районам строительства). Поскольку величины касательных напряжений находятся в прямой связи с поперечными силами, на рис.1 приведены графики изменения максимальных поперечных сил в кровельных щитах для домов при изменении пролёта L от 7,8 до 9,3 м и угла α от 30° до 45°. На рис. 1 и 2 показаны характерные эпюры для определённых значений нагрузок. Подобные эпюры построены для нагрузок $P_{сн}$ и $q_{в}$, действующих для других районов строительства.

Произведённые расчёты необходимы для того, чтобы выявить наибольшие величины поперечных сил в кровельных щитах при изменении основных параметров L , α и q . Анализ результатов этих расчётов сведён в таблицу, где представлены максимальные величины поперечных сил с учётом реальной изменчивости указанных параметров.

№ сечения	Максимальные значения поперечных сил (кН)					Расчётные значения с	
	от пост.нагр.	от снега по всему пролёту	от снега слева	от ветра слева	от ветра справа	$\Psi=1,0$	$\Psi=0,9$
1	1,31	1,82	2,9	$\frac{1,06}{1,65}$	$\frac{1,15}{1,80}$	4,21	5,54
3	1,70	2,36	2,36	разгруж.	разгруж.	4,06	-

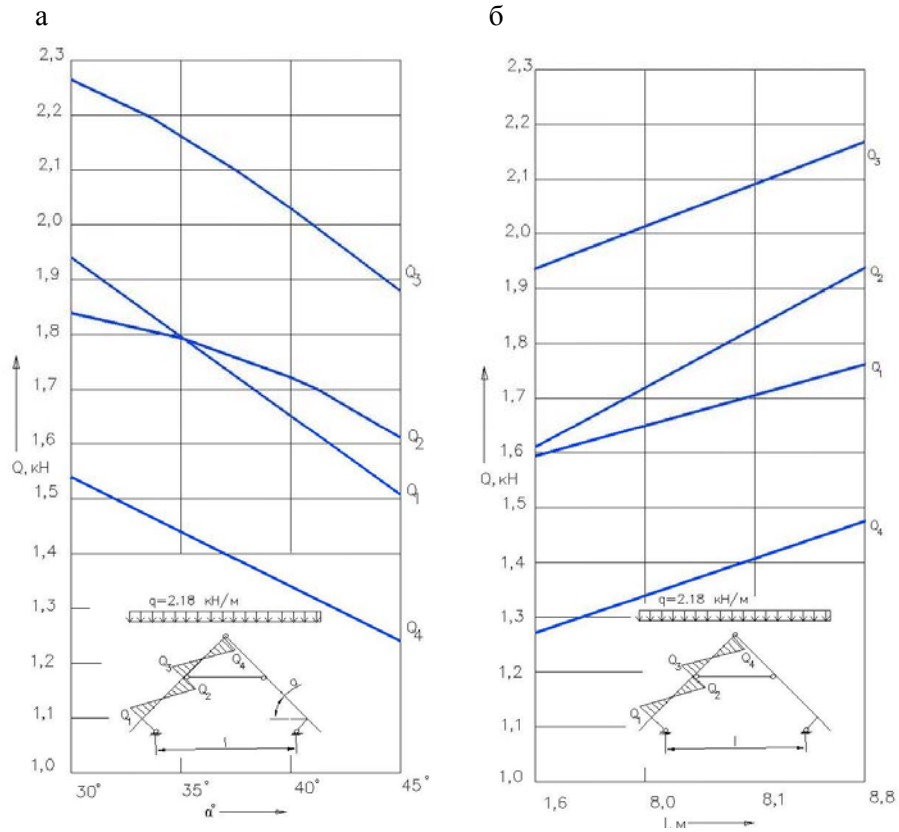


Рис. 1. Изменение поперечных сил в стропильной системе при действии снеговой нагрузки: а – в зависимости от уклона крыши; б – в зависимости от пролёта

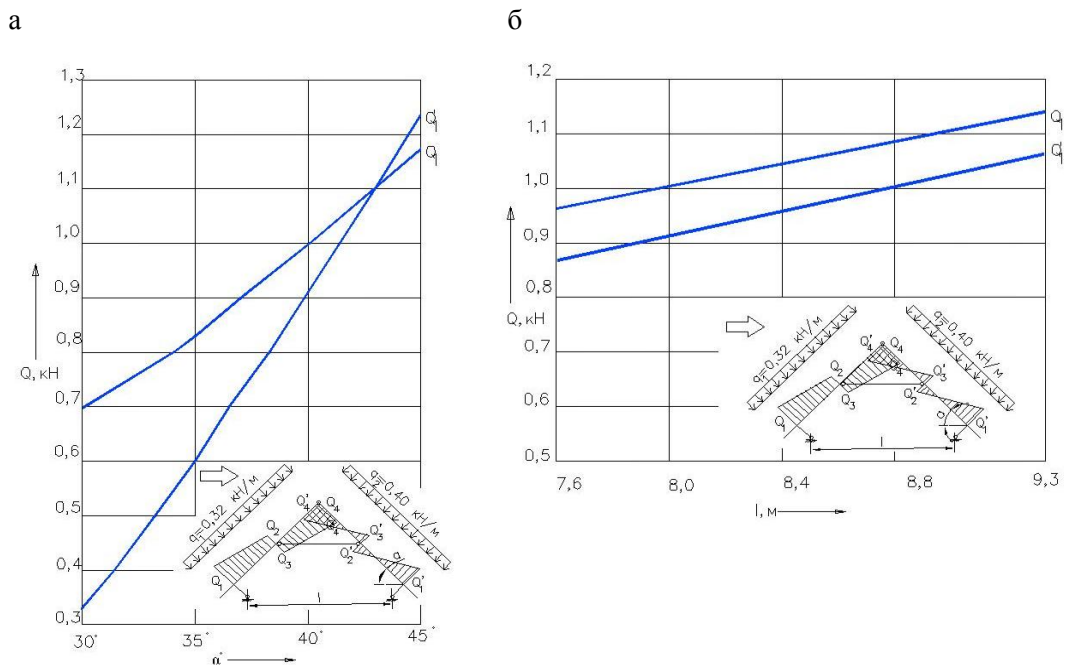


Рис. 2. Изменение поперечных сил в стропильной системе при действии ветровой нагрузки: а – в зависимости от уклона крыши; б – в зависимости от пролёта L

Касательные напряжения подсчитывались исходя из совместной работы рёбер и обшивки:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{пр}^{об}}{\mathcal{J}_{пр} \cdot \sum b_p} = \gamma Q, \quad (1)$$

где $S_{пр}^{об}$ – приведённый к материалу древесины статический момент обшивки относительно нейтральной оси; $\mathcal{J}_{пр}$ – приведённый к материалу древесины момент инерции всего сечения относительно нейтральной оси; $\sum b_p$ – суммарная ширина всех рёбер на уровне нейтральной оси; $\gamma = \frac{S_{пр}^{об}}{\mathcal{J}_{пр} \cdot \sum b_p}$ – коэффициент, значение которого

фактически показывает изменение скалывающих напряжений в клеевых швах в долях силы Q .

Изменение коэффициента γ для наиболее напряжённых сечений кровельных щитов показано на рис. 3. По графикам (см. рис. 3) можно дать оценку величинам касательных напряжений в клеевых швах кровельных щитов для наиболее реальных размеров несущих рёбер кровельных щитов h, b, d_p, t (обозначения см. рис.1-3). Толщина обшивки из древесно-стружечных плит принята равной 16 мм. Используя данные таблицы и графики рис.3, подсчитаем максимальный уровень касательных напряжений:

$$\tau_{max} = \gamma_{max} \cdot Q_{max} = 50 \cdot 5,54 = 277 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = 0,277 \text{ МПа.}$$

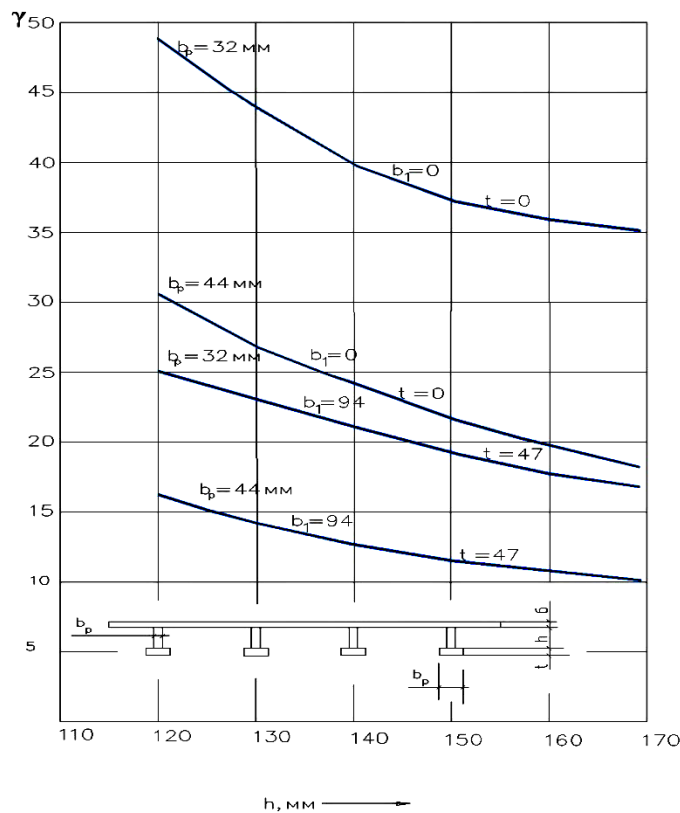


Рис.3. Изменение коэффициента γ

В предельном состоянии максимальные напряжения должны равняться величине расчётного сопротивления шва $R_{\text{ск}}^{\text{III}}$, т.е.

$$\tau_{\text{max}} = \gamma_{\text{max}} \cdot Q_{\text{max}} = R_{\text{ск}}^{\text{III}}. \quad (2)$$

Величина $R_{\text{ск}}^{\text{III}}$ должна определять наименьшую требуемую прочность клеевого шва с учётом достаточной надёжности и изменчивости различных факторов, влияющих на прочность. Согласно [2] расчётное сопротивление клеевых швов в соединениях можно подсчитать как

$$R_{\text{ск}}^{\text{III}} = \frac{R^{\text{H}}}{K_1} \cdot K_{\text{дл}}, \quad (3)$$

где K_1 – коэффициент безопасности; $K_{\text{дл}}$ – коэффициент длительного сопротивления; R^{H} – нормативное сопротивление.

Коэффициент K_1 выражается через статистическую характеристику C_V (вариационный коэффициент) по формуле

$$K_1 = \frac{1 - 1,65C_V}{1 - 2,33C_V}. \quad (4)$$

Вариационный коэффициент C_V – величина изменчивая. Результаты испытания более 390 образцов по определению предела прочности клеевых швов, полученные путём статистической обработки, показали, что $C_V = 0,2592$. Тогда коэффициент $K_1 = 1,4485 \approx 1,45$.

Выразив величину R^{H} в формуле (3) через предел прочности $\sigma_{\text{пч}}$ формулой $R^{\text{H}} = \sigma_{\text{пч}} (1 - 1,65C_V)$, получим:

$$\sigma_{\text{пч}} = \frac{R_{\text{ск}}^{\text{III}} \cdot K_1}{K_{\text{дл}} (1 - 1,65C_V)}. \quad (5)$$

Для назначения коэффициента $K_{\text{дл}}$ воспользуемся данными [2], где приводится эта величина в пределах от 0,45 до 0,65, при этом вид клея играет существенную роль. Как показано в [2], зависимость длительной прочности клеевых соединений на карбамидных клеях ($K_{\text{дл}} = 0,38$) ниже, чем на других клеях ($K_{\text{дл}} = 0,44$). Примем в нашем случае $K_{\text{дл}} = 0,4$, тогда величина $\sigma_{\text{пч}}$ по формуле (5) будет равна:

$$\sigma_{\text{пч}} = \frac{1,45 \cdot R_{\text{ск}}^{\text{III}}}{0,4 \cdot (1 - 1,65 \cdot 0,2592)} = 6,334 R_{\text{ск}}^{\text{III}}.$$

Или используя эту формулу, получим $R_{\text{ск}}^{\text{III}} = 0,158 \sigma_{\text{пч}}$.

В предельном состоянии (формула (2)) величина расчётного сопротивления равна максимальной величине касательных напряжений, т.е.

$$\gamma_{\text{max}} Q_{\text{max}} = 0,158 \sigma_{\text{пч}},$$

откуда $\sigma_{\text{пч}} = 6,334 \gamma_{\text{max}} Q_{\text{max}}$

Значения γ_{max} и Q_{max} , исходя из реальной работы кровельных щитов, подсчитаны ранее и равны $\gamma_{\text{max}} = 50 \frac{1}{\text{м}^2}$; $Q_{\text{max}} = 5,54 \text{ кН}$.

$$\gamma_{\max} \cdot Q_{\max} = 277 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = 0,277 \text{ МПа} .$$

Тогда имеем для максимального уровня касательных напряжений, что среднее значение предела прочности клеевых швов должно быть равно:

$$\sigma_{\text{пч}} = 6,334 \cdot 0,277 = 1,8 \text{ МПа} .$$

Принимается $\sigma_{\text{пч}} = 2 \text{ МПа}$.

При средней величине предела прочности клеевых швов $\sigma_{\text{пч}} = 2 \text{ МПа}$, фактическом значении вариационного коэффициента $C_V = 0,26$ и коэффициенте длительного сопротивления $K_{\text{дл}} = 0,4$ нормативное и расчётное сопротивления клеевых швов соответственно равны:

– нормативные значения:

$$R_{\text{кр}}^{\text{H}} = 2(1 - 1,65 \cdot 0,26) = 1,14 \text{ МПа} \approx 1,1 \text{ МПа} ,$$

$$R^{\text{H}} = 1,14 \cdot 0,4 = 0,458 \text{ МПа} \approx 0,45 \text{ МПа} ,$$

– расчётные значения:

$$R_{\text{кр}} = 2(1 - 2,33 \cdot 0,26) = 0,788 \text{ МПа} \approx 0,8 \text{ МПа} ,$$

$$R = 0,788 \cdot 0,4 = 0,315 \text{ МПа} \approx 0,31 \text{ МПа} .$$

При расчёте по действующим нормам необходимо было бы предусматривать $R_{\text{ск}} = 1,6 \text{ МПа}$ (как для скалывания древесины вдоль волокон).

Таким образом, предлагается снизить прочностные требования к клеевым швам, соединяющим обшивку и несущие ребра, не снижая при этом несущую способность кровельных щитов в системе полносборного дома. Указанное предложение может быть реализовано путем применения недорогих и менее высокопрочных клеев на основе дефицитных и полимерных смол.

Список литературы

1. Вдовин, В.М. Полносборный деревянный дом из крупных промышленных панелей / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов.. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 146 с.
2. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Госстрой СССР, 1981. – 40 с.

References

1. Vdovin, V.M. Wooden house prefabrication of large industrial panels / V.M. Vdovin V.N. Karpov. – Penza: PGUAS, 2015. – 146 p.
2. Recommendations for testing of wooden structures compounds / CNIISK. V.A. Kucherenko. – M.: State Construction Committee of the USSR, 1981. – 40 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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ СОЗРЕВАНИЯ ПОКРЫТИЯ ИЗ ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ ПО ОТДЕЛКЕ ПАНЕЛЕЙ

М.В. Кочеткова

Показано оптимальное время технологической обработки защитного покрытия из пенополимерцементного раствора с помощью пробных обработок, основанных на его пластической прочности.

Ключевые слова: конструкция защитно-отделочного покрытия пенобетонных стен, фактуры декоративного слоя, фактурная заводская обработка стеновых панелей, время для отделки панелей, ускорители твердения

DEFINITION OF BEST TIME MATURING OF COATINGS FROM POLYMER CEMENT MORTAR FOR FURTHER SURFACE FINISHING OPERATIONS

M.V. Kochetkova

The best time of maturing of polymer coating mortar for further surface finishing is determined.

Keywords: design protective topcoat, foam concrete wall texture of decorative layer, textured wall panels factory processing time for finishing panels, hardening accelerators

Влияние смачивания поверхности пенобетона на обезвоживание раствора в граничном слое изучалось методом электропроводности с помощью высокочастотного генератора при одновременном исследовании кинетики предельного напряжения сдвига.

На рис. 1 представлены голограммы изменений электрического сопротивления пенополимерцементного раствора R . При рассмотрении полученных голограмм и кривых можно отметить, что на не смоченном основании (рис.1,а) происходит интенсивное отсасывание влаги из раствора. Вследствие этого быстро увеличивается и предельное напряжение сдвига. Наименьшая отдача влаги раствором может быть достигнута при обильном смачивании основания водой (рис.1,б). Вместе с тем малый наклон кривой предельного напряжения сдвига свидетельствует о замедленном структурообразовании в граничном слое, что, как уже отмечалось, отрицательно сказывается и на конечной прочности. Несколько лучше те же данные выглядят при смачивании основания латексом с водой в соотношении 1:10 (рис.1,в).

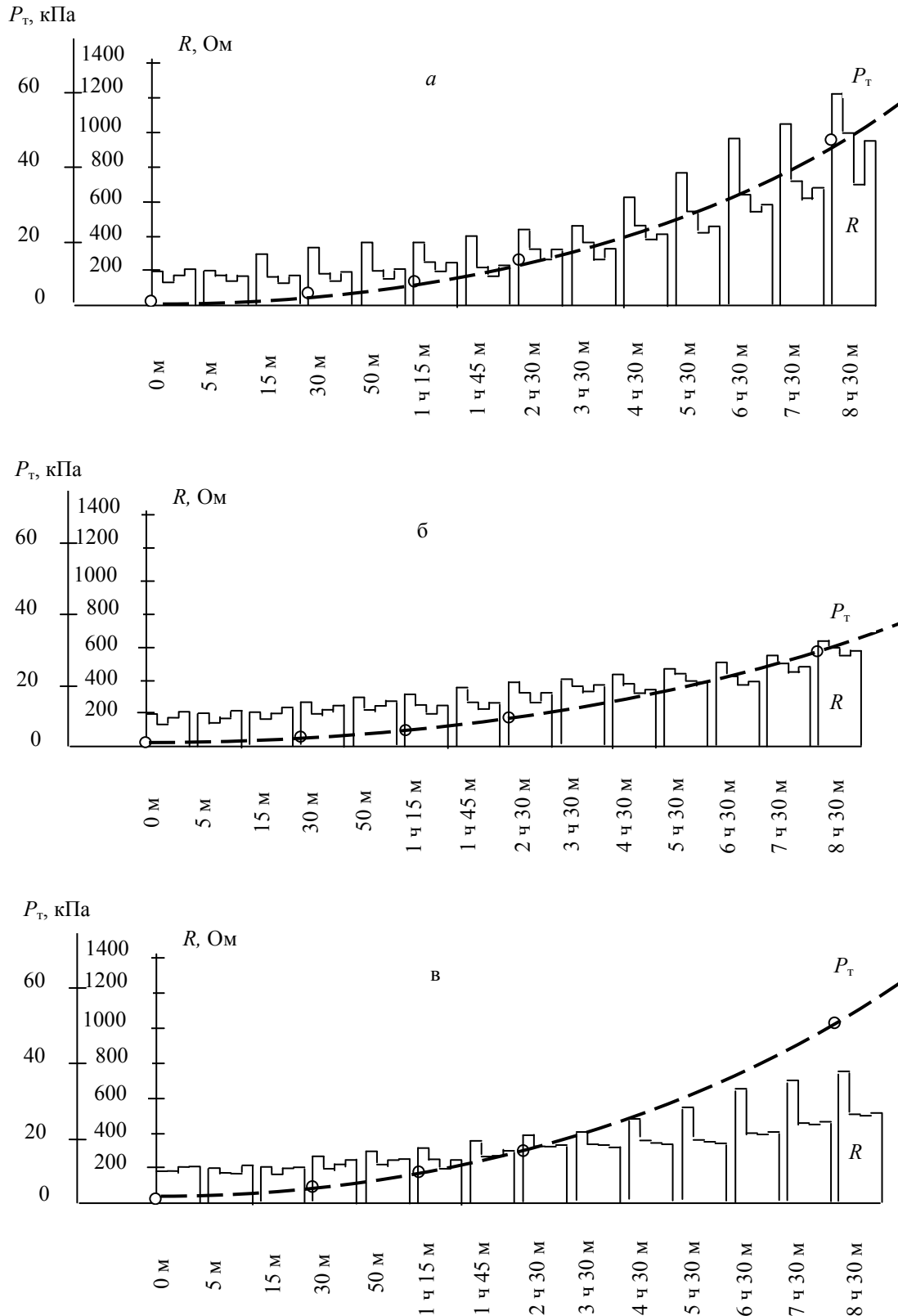


Рис.1. Изменение электрического сопротивления и предельного напряжения сдвига пенополимерцементного раствора, уложенного на основание из пенобетона (начало):
 а – сухое; б – увлажненное водой; в – смоченное латексом с водой 1:10;
 г – смоченное латексом с водой 1:5; д – смоченное латексом без воды

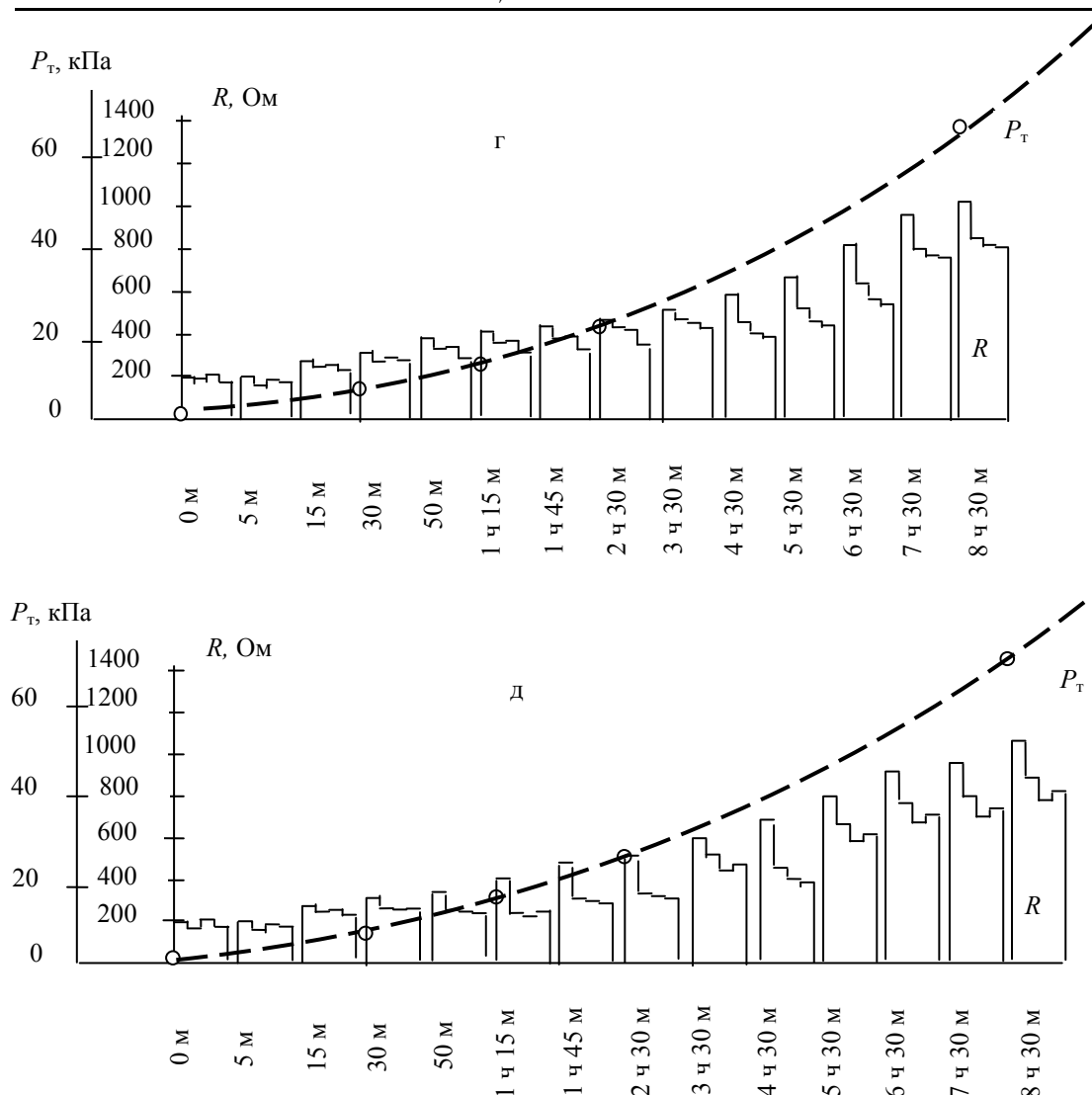


Рис. 1. Изменение электрического сопротивления и предельного напряжения сдвига пенополимерцементного раствора, уложенного на основание из пенобетона (окончание): а – сухое; б – увлажненное водой; в – смоченное латексом с водой 1:10; г – смоченное латексом с водой 1:5; д – смоченное латексом без воды

При смачивании основания неразведенным латексом (рис. 1, д) наблюдается повышенный отсос влаги и значительное нарастание предельного напряжения сдвига. Это можно объяснить тем, что глобулы полимера закрывают крупные поры, а при отсасывании воды через мелкие капилляры происходит упрочнение структуры в граничном слое.

Наилучшим составом для грунтовки, на наш взгляд, является латекс, разведенный водой в соотношении 1:5 (рис.1,г). Эта грунтовка обеспечивает более глубокое проникание полимера в поры пенобетона при одновременном сохранении в растворе влаги, достаточной для гидратации цемента. Вместе с тем наблюдается интенсивный рост предельного напряжения сдвига, опережающий нарастание электрического сопротивления, что свидетельствует о нормально протекающем процессе формирования структуры пенополимерцементного раствора.

Таким образом, перед укладкой пенополимерцементного раствора пенобетон необходимо обеспылить и смочить дисперсией полимера, разбавленной водой в соотношении 1:5.

При конструировании защитно-отделочного покрытия из пенополимерцементного раствора нами предполагалась возможность обнажения фактуры декоративного слоя

как в процессе строительства для удаления загрязнений и мелких повреждений, так и в процессе эксплуатации. Такое вскрытие фактуры без изменения внешнего вида панели можно сделать только при условии снятия цементно-водной пленки с поверхности отделочного слоя в заводских условиях. Вскрытие фактуры можно осуществлять циклеванием, т.е. соскабливанием цементно-водной пленки, как это делается при выполнении цветной штукатурки, или обработкой поверхности металлическими щетками. В этом случае операцию можно легко механизировать.

Для снижения затрат энергии и продолжительности обработки вскрытие фактуры нужно делать в наиболее раннем возрасте отделочного раствора, но при его достаточной пластической прочности.

Путем многочисленных пробных фактурных обработок защитно-отделочного слоя из пенобетона определено оптимальное время созревания покрытия для окончательной отделки. Учитывая значительное воздействие на кинетику пластической прочности пористого основания, раствор довольно быстро начинает поддаваться фактурной обработке, т.е. он не смазывается и хорошо соскабливается, обнажая внутреннюю фактуру. В зависимости от толщины слоя раствора в 10–20 мм обработку можно выполнять через 2,5–4 часа. Кроме того, указанное время зависит от интенсивности увлажнения и собственной влажности пенобетона перед укладкой на него отделочного раствора, влажности в помещении, которая должна быть в пределах 40–60 %. При повышении влажности время созревания увеличивается.

При введении в раствор декоративных наполнителей, таких, например, как слюда, мраморная крошка, дробленое стекло и т.п., время до вскрытия фактуры нужно увеличить на 1,5–2 часа. Это необходимо для того, чтобы исключить вырывание декоративных зерен из слабого цементно-песчаного камня.

Для сокращения времени на выдерживание раствора до циклевания можно использовать ускорители твердения. Наиболее подходящим для них является поташ. Поташ дополнительно пластифицирует смесь и способствует быстрому нарастанию пластической прочности. В отличие от хлористого кальция он не дает высолов на поверхности. Кроме того, поташ является стабилизатором дивинилстирольного латекса.

Увеличение времени сверх оптимального не приведет к браку в отделке панелей. Возрастает только трудоемкость и повышается расход энергии. Затвердевший пенополимерцементный раствор можно обрабатывать фрезерованием, шлифованием наждачными кругами и т.п. Следует иметь в виду, что затвердевшая поверхностная корочка очень прочна, особенно на истирание. Вот почему лучше от нее освободиться не позже первых суток твердения отделочного раствора. Если же фактура не вскрывается, поверхностная прочная корочка (как бы поверхностная «закалка») будет служить дополнительной защитой поверхности панели от механических повреждений.

Исследование реологических свойств пенополимерцементных растворов позволяет сделать следующие выводы:

1. Для улучшения реологических свойств полимерцементных растворов, обладающих повышенными вязко-пластичными свойствами, весьма эффективно применять фотоэлектрический пластометр, записывающее устройство которого позволяет фиксировать быстро и медленно развивающиеся части деформаций.

2. Структурообразование раствора на пористом основании при условном разграничении его по толщине слоя на зоны может быть представлено по изменению электропроводности каждой зоны. Измерение электропроводности в сочетании с определением предельного напряжения сдвига являются новым методом изучения структурообразования полимерцементных растворов.

3. Реологические характеристики пенополимерцементного раствора определяют его как эффективный материал для отделки стен из пенобетона, что подтверждает ранее сделанные теоретические предположения.

4. Быстрое повышение пластической прочности пенополимерцементного раствора, уложенного на пористое основание, следует объяснять как отсосом влаги, так и коагуляцией латекса, интенсифицирующейся при уменьшении влаги, что и предполагалось ранее.

5. Дивинилстирольный латекс, стабилизированный костным клеем, замедляет структурообразование и тем больше, чем выше П:Ц.
6. Пенополимерцементные растворы обладают удовлетворительным сцеплением с различными видами поверхности пенобетона.
7. В граничном слое пенополимерцементного раствора и пенобетона образуется пленка из полимера, оказывающая значительное влияние на прочность сцепления и морозостойкость. Ее качественная характеристика зависит от величины П:Ц и концентрации грунтовок из дисперсии полимера.
8. Проведенные исследования свидетельствуют о благоприятном воздействии полимера на формирование структуры раствора на пористом основании.
- 9.

Список литературы

1. Кочеткова, М.В. Атмосферостойкость защитно-отделочных покрытий наружных стен из пенобетона при их переменном увлажнении, высушивании и воздействии высоких температур пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С. 61–64.
2. Гусев, Н.И. Влагопроницаемость и паропроницаемость полимерцементного раствора для защитно-отделочного покрытия / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, Е.С. Аленкина // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №2. – С. 68–72.
3. Гусев, Н.И. Прочностные показатели полимерцементных композитов для наружного покрытия стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С. 36–40.
4. Кочеткова, М.В. Исследование декоративных свойств поризованных растворов на атмосферные воздействия / М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, Е.С. Аленкина // Современная техника и технологии. – 2014. – №12 (40). – С. 115–118.
5. Гусев, Н.И. Методика исследований физико-механических свойств пенополимерцементных растворов для защиты наружных стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, А.С. Щеглова // Современная техника и технологии. – 2014. – №12 (40). – С. 36–40.
6. Гусев, Н.И. Выполнение строительных процессов с применением растворов и бетонов / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, Е.С. Аленкина // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – №5–1 (37). – С. 20.

References

1. Kochetkova, M.V. Weather proof coating and finishing the exterior walls of the foam when alternating wetting, drying and high temperatures foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P. 61–64.
2. Gusev, N.I. Moisture permeability and water vapor permeability of polymer-solution for the protective topcoat foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, E.S. Alenkina // Regional architecture and engineering. – 2015. – №2. – P. 68–72.
3. Gusev, N.I. Strength performance polymer-matrix composites for exterior wall covering of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P. 36–40.
4. Kochetkova, M.V. Study decorative properties of porous solutions on weathering / M.V. Kochetkova, N.I. Gusev, E.S. Alenkina // Modern techniques and technology. – 2014. – №12 (40). – P. 115–118.
5. Gusev, N.I. Research methods of physical and mechanical properties foam polymer concrete solutions to protect the outer walls / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova // Modern techniques and technology. – 2014. – №12 (40). – P. 36–40.
6. Gusev, N.I. Execution of construction processes using mortars and concretes / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, E.S. Alenkina // Modern scientific research and innovation. – 2014. – №5–1 (37). – P. 20.

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОТДЕЛКИ ПАНЕЛЕЙ ИЗ ПЕНОБЕТОНА ПЕНОПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫМ РАСТВОРОМ

М.В. Кочеткова

Описана последовательность режимов нанесения защитно-отделочных покрытий из пенополимерцементных растворов.

Ключевые слова: эксплуатационная рентабельность жилья, подготовка панелей под отделку, декоративно-отделочные смеси, режимы выдерживания панелей с нанесенным раствором, многоцветные панели, обновление фасадов

TECHNOLOGICAL SEQUENCE OF FOAM CONCRETE FINISHING PANEL BY FOAM POLYMER CEMENT MORTAR

M.V. Kochetkova

The sequence of modes of application, of protective foam polymer cement mortar coatings and finishing solutions is described.

Keywords: return of property, preparation of panels for decoration, fine mixture, making multi-color panels, upgrading of facades

Для реализации такой важной программы, как «Доступное и комфортное жилье», которая является приоритетной среди национальных программ России, технология панельного домостроения становится идеальным решением. Достоинством панельных технологий является не только внешняя привлекательность строений и простота отделочных работ, но и высокая скорость возведения жилья и его надежность. Основным преимуществом панельного домостроения считается рентабельность последующей эксплуатации такого жилья, что безусловно является важнейшим условием реализации правительственных программ. Предлагаемая отделка панелей пенополимерцементным раствором на основе синтетического латекса вполне технологична, поддается механизации и автоматизации рабочих процессов и может быть привязана к действующим технологическим линиям по выпуску панелей.

В заводских условиях на отделку поступают панели, прошедшие автоклавную обработку, с любыми внешними дефектами (отколы, раковины, вмятины и т.п.), не снижающими их конструктивных качеств. Однако независимо от вида отделки, осуществляемой после распалубки, на поверхностях панелей не допускаются: раковины глубиной более 2 мм, диаметром более 3 мм; трещины в бетоне шириной более 0,2 мм; местные наплывы, впадины глубиной более 2 мм и диаметром более 5 мм, «драконов зуб» высотой более 1,5 мм; газобетонная пыль; масляные пятна; отслоения поверхностной цементной или известковой пленки.

При наличии дефектов их рекомендуется устранить, произвести при необходимости ремонт и подготовить поверхность панелей под отделку.

Подготовка поверхности изделий под отделку включает:

- очистку поверхности от масляных и ржавых пятен, грязи и отслоившейся цементной или известковой пленки абразивными инструментами, металлическими щетками, пескоструйным аппаратом с последующим обеспыливанием поверхности промышленным пылесосом;
- заделку раствором отдельных выбоин, околос граней и ребер, а также мелких трещин ремонтным пенополимерцементным раствором;
- выравнивание поверхности раствором;
- грунтовку поверхности латексом СКС-65 ГП, разведенным водой в соотношении 1:5 (латекс:вода).

Непосредственно перед укладкой пенополимерцементного раствора панель смачивают кистью или из распылителя дисперсией полимера, разбавленного водой в соотношении 1:5. Пенополимерцементный раствор может быть обычным (в случае его применения для ремонта панелей с последующим окрашиванием) или декоративным. В зависимости от требования декоративности цемент может быть белый, цветной или обычный портландский. Песок тоже может быть белый, цветной или обычный и должен соответствовать требованиям, предъявляемым к пескам для штукатурных растворов. Пигмент вводят в белый цемент в вибромельницах. Фталцианиновые пигменты можно вводить в воду затворения. Для придания им гидрофильных свойств в воде необходимо растворить небольшое количество поверхностно-активного вещества, например ОП-7 или ОП-10. Слюду в количестве 3–4 % от веса цемента в измельченном виде вносят вместе с песком. В раствор может вводиться мраморная крошка и другие декоративные наполнители.

Поризованные растворы приготавливаются в смесителях принудительного действия с числом оборотов не менее 80 и не более 150 в мин. В смеситель сначала заливают жидкие компоненты (вода, пенообразователь и стабилизированный латекс СКС-65ГП) и смешивают их в течение 1,5–2 минут. Затем загружают отмеренные по весу сухие составляющие, желательны в перемешанном виде. Продолжительность перемешивания определяется опытным путем до получения объемной массы смеси 1500 кг/м³, т.е. примерно 5–8 минут. Объемная масса зависит от скорости и продолжительности перемешивания.

Сразу после приготовления смесь выгружают в расходный бункер и укладывают на панель вручную или с помощью раствороукладчика. Поверхность раствора должна быть ровной, без раковин. Раствор расстилается хорошо и при легком вибрировании укладываемым инструментом (рейкой) дает ровную поверхность.

Никакого ухода за отформованным отделочным слоем не требуется. Желательно иметь температуру воздуха +18–20°C и влажность 40–50 %. При понижении температуры и повышении влажности структурообразование раствора удлиняется.

Через 3–4 часа в зависимости от температурно-влажностных условий, влажности панели и толщины отделочного слоя можно вскрыть фактуру путем соскабливания цементно-латексной пленки. В таком состоянии пленка легко снимается зубчатым шпателем или металлической щеткой. Операцию по вскрытию фактуры несложно механизировать. В результате циклевания должна получиться ровная мелкопористая поверхность декоративной штукатурки.

В процессе отделки панелей особенно тщательному контролю подлежит постоянство объемной массы растворной смеси и коагуляция латекса. Эти факторы зависят от ряда причин, а их изменения оказывают влияние на все свойства отделочного пенополимерцементного раствора.

В проведенных экспериментах для образования пены использовалась гидролизованная кровь. Мы полагали, что надо проверить наименее эффективный пенообразователь для цементно-полимерных композиций. Гораздо лучшими свойствами обладают клееканифольный, смолосапониновый пенообразователи, а также полимерный пенообразователь на основе латекса и технического альбумина.

Поскольку послеавтоклавная отделка панелей пенополимерцементным раствором не связана с основным технологическим циклом, эти операции могут выполняться в

любые сроки после изготовления. Технологическую линию отделки панелей можно разместить как на складе готовой продукции, так и в специально построенном помещении. Применяемые материалы не токсичны, а технологический процесс не содержит вредных отходов, однако производственные помещения должны быть оборудованы общеобменной приточно-вытяжной и вытяжной вентиляцией, кратность воздухообмена устанавливается не менее 3.

Весь технологический процесс может быть механизирован и автоматизирован с использованием серийных машин и механизмов и несложного нестандартного оборудования.

Для изготовления двухцветных панелей с заданным рисунком отделка выполняется в два этапа. На границе разноцветных растворов устанавливают полоску-опалубку из кровельной стали шириной 20мм на ребро. Затем укладывают раствор одного цвета. Через 30–60 минут полоску снимают и укладывают раствор второго цвета. Можно пользоваться шаблоном, закрывающим площадь одного из цветов во время укладки раствора второго цвета. После требуемой воздушно-сухой выдержки панели циклюют обычным способом.

Транспортировка панелей из пенобетона с отделкой пенополимерцементным раствором осуществляется на обычных панелевозах, предназначенных для перевозки панелей с фактурным слоем в наклонно-вертикальном положении. При погрузочно-разгрузочных работах и транспортировке принимаются те же меры предосторожности по защите фактурного слоя от повреждений, что и при работах с панелями с любыми другими видами отделки.

Применение для отделки пенополимерцементного декоративного на всю глубину слоя раствора освобождает строителей при устранении различных дефектов от мокрых процессов и делает фасадные работы всепогодными. Загрязнения и мелкие царапины можно удалять «сухим» способом путем соскабливания стальным шпателем, шлифования машинкой или, при больших площадях, обработкой пескоструйным аппаратом.

Некоторые виды загрязнений, а также копоть, при обновлении фасадов в процессе эксплуатации могут быть удалены промывкой чистой водой или водой с применением моющих средств. Введение в раствор полимера способствует меньшему загрязнению фасадов и более легкому удалению грязи и копоти по сравнению с обычным раствором.

Как показал опыт строительства с использованием панелей, отделанных пенополимерцементным раствором, трудозатраты на отделку фасадов значительно сокращаются, особенно в период непогоды и отрицательных температур.

При выполнении отдельных элементов стен из мелкоштучных пенобетонных блоков возникает необходимость в наружной штукатурке. Такая штукатурка может быть выполнена по той же технологии, которая используется в заводских условиях для отделки панелей пенополимерцементным раствором.

При продолжительной эксплуатации на наружных стенах зданий, если они оштукатурены, появляются отдельные дефекты. Для их устранения при ремонте зданий приходится наносить новый слой штукатурки. Это ненадежно и дорого, поэтому отделка пенополимерцементным раствором с последующей окраской всего здания может рассматриваться как более прогрессивный вариант проведения ремонтных работ.

Список литературы

1. Гусев, Н.И. Методика исследований физико-механических свойств пенополимерцементных растворов для защиты наружных стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, А.С. Щеглова // Современная техника и технологии. – 2014. – №12 (40). – С. 36–40.
2. Кочеткова, М.В. Атмосферостойкость защитно-отделочных покрытий наружных стен из пенобетона при их переменном увлажнении, высушивании и воздействии

высоких температур пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С. 61–64.

3. Гусев, Н.И. Прочностные показатели полимерцементных композитов для наружного покрытия стен из пенобетона / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С. 36–40.

4. Кочеткова, М.В. Исследование декоративных свойств поризованных растворов на атмосферные воздействия / М.В. Кочеткова, Н.И. Гусев, Е.С. Аленкина // Современная техника и технологии. – 2014. – №12 (40). – С. 115–118.

References

1. Gusev, N.I. Research methods of physical and mechanical properties of foam polymer concrete solutions to protect the outer walls / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, A.S. Shcheglova // Modern techniques and technology. – 2014. – №12 (40). – P. 36–40.

2. Kochetkova, M.V. Weather proof coating and finishing the exterior walls of the foam when alternating wetting, drying and high temperatures foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P. 61–64.

3. Gusev, N.I. Strength performance polymer-matrix composites for exterior wall covering of the foam / N.I. Gusev, M.V. Kochetkova, K.S. Parshina // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P. 36–40.

4. Kochetkova, M.V. Study decorative properties of porous solutions on weathering / M.V. Kochetkova, N.I. Gusev, E.S. Alenkina // Modern techniques and technology. – 2014. – №12 (40). – P. 115–118.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 628.349.094.3

Пензенский государственный университет
Россия, 440026, Пенза, ул. Красная, 40,
тел. (8412)-36-82-70

Перельгин Юрий Петрович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Химия»
E-mail: pyp@pnzgu.ru

ООО НПО «СТАР ПАС Инжиниринг»
Россия, 440068, Пенза, ул. Рябова, 31,
тел. (8412)-32-16-50

Покшин Василий Васильевич,
заместитель генерального директора
E-mail: pwas2014@gmail.com

Penza State University
Russia, 440026, Penza, 40, Krasnaya St.,
tel. (8412)-36-82-70

Perelygin Yuri Petrovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
Department «Chemistry»
E-mail: pyp@pnzgu.ru

NPO «Star PAS Engineering»
Russia, 440068, Penza, 31, Ryabov St.,
tel. (8412)-32-16-50

Pakshin Vasily Vasilyevich,
Deputy General Manager
E-mail: pwas2014@gmail.com

РЕАГЕНТ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Ю.П. Перельгин, В.В. Покшин

Предлагается реагент, состоящий из солей меди, цинка, серебра и персульфата натрия для обеззараживания воды от термотолерантных колиформных бактерий высокой эффективности.

Ключевые слова: обеззараживание воды, ионы меди, цинка, серебра и персульфат натрия.

REAGENT FOR WATER DISINFECTION

Yu. P. Perelygin, V.V. Pokshin

Proposed reagent consisting of salts of copper, zinc, silver, and sodium persulfate for the disinfection of water termotolerant coliform bacteria high performance.

Keywords: disinfection of water, copper ions, zinc, silver and sodium persulfate

Наиболее распространенным способом обеззараживания воды является ее хлорирование [1]. Для усиления антимикробного действия хлорирование сочетают с использованием других реагентов, таких, как ионы меди, серебра или цинка [2]. Однако этот метод имеет ряд ограничений, связанных с ухудшением вкуса воды, появлением неприятного запаха и образованием значительного количества побочных продуктов, некоторые из которых канцерогенны [1].

Более перспективным методом является замена хлорирования воды на ее озонирование, что обусловлено в первую очередь его высокими окислительными свойствами и способностью эффективно разрушать различные неорганические и органические соединения, а также патогенные микроорганизмы, в том числе стойкие к действию других окислителей, например хлора. При озонировании воды у неё исчезают неприятный вкус и запах, повышается прозрачность и возрастает содержание растворенного кислорода. Разложение остаточного озона протекает быстро с выделением кислорода без образования токсичных соединений [1].

Однако, наряду с перечисленными выше достоинствами, метод обработки озоном имеет существенный недостаток – вода может подвергнуться вторичному бактериальному заражению, поскольку уже через два часа после обработки концентрация озона в ней приближается к нулю, следовательно, возникает необходимость производства озона на станции очистки воды [1].

Известен способ обеззараживания воды плавательных бассейнов, предусматривающий ее периодическую обработку диизодецил-диметиламмоний хлоридом и ионами меди, получаемыми при растворении ее солей, с последующим введением окислителя – хлора или озона и поддержание постоянной концентрации последнего не менее 0,1 мг/л [3].

Известен способ обеззараживания воды путем ее обработки озоном и ионами меди [4] или серебра [5] или меди и серебра одновременно [6], причем обработку ведут в несколько стадий. На первой стадии в воду вводят озон до его концентрации в воде 0,5-1 мг/л, на второй стадии озонированную воду выдерживают в течение 0,5-2 ч, после чего на третьей стадии воду обрабатывают ионами меди или серебра, или серебра и меди одновременно, полученными с использованием электролизера. Аноды выполнены из рафинированной меди или серебра.

Недостатком данного способа является необходимость производства озона на станции очистки воды, поскольку уже через два часа после обработки воды концентрация озона в ней приближается к нулю и вода может подвергнуться вторичному бактериальному заражению [1].

Представляет интерес как для практики, так и для теории обработки воды разработка эффективного, экологически безопасного и экономически дешевого способа обеззараживания воды с одновременной олигодинамической обработкой ионами металлов и окислителя, позволяющего обеспечить обеззараживание воды и предотвратить вторичное бактериальное заражение воды в течение длительного времени.

Поставленная цель может быть достигнута путем обеззараживания воды ионами серебра, цинка и меди, полученными при растворении их солей. Выдерживание воды в течение 0,5-2 часов. В качестве окислителя целесообразно использовать 0,2-0,4 % водный раствор персульфата натрия, который вводят в качестве дезинфицирующего средства [7] одновременно с растворами солей серебра, меди и цинка до достижения их концентрации в воде: персульфат натрия 1-5 мг/л; ионов серебра 0,02–0,05, ионов меди 0,07–1,0 и ионов цинка 3,0–5,0 мг/л; при этом обработку воды проводят при температуре 10-25 °С [8].

Для проверки бактерицидного действия предлагаемого способа осуществлялась обработка воды из поверхностного источника водоснабжения (река Сура, Пензенской области). В исходную воду добавляли 0,2 % раствор персульфата натрия до его концентрации 1 мг/л и 2 % растворы нитрата серебра и сульфата меди и цинка до концентраций ионов серебра, меди и цинка 0,02, 0,07 и 3,0 мг/л соответственно.

На второй стадии обработанную воду выдерживали в течение 2,0 часа при температуре от 10 до 25 °С.

Выполнение анализа воды проводилось в испытательном лабораторном центре ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пензенской области» по методике, изложенной в [9].

В таблице приведены некоторые показатели качества воды до и спустя 0,5; 1; 2 часа и через 30 дней после ее обработки по предлагаемому способу.

Как видно из таблицы, в исходной воде были обнаружены термотолерантные колиформные бактерии КОЕ и общие колиформные бактерии КОЕ. После обработки воды по предлагаемому способу содержание термотолерантных колиформных бактерий (КОЕ в 100 мл) и общих колиформных бактерий (КОЕ в 100 мл) оказалось значительно меньше установленных ПДК для воды хозяйственно-питьевого водоснабжения [10], что соответствует требованиям для воды централизованных систем питьевого водоснабжения [11] и для воды плавательных бассейнов [12].

Количество введенного реагента	Содержание загрязняющих веществ до очистки	Температура воды, °С	Содержание загрязняющих веществ после очистки			
			Через 0,5 часа	Через 1 час	Через 2 часа	Через 30 дней открытого хранения
Na ₂ S ₂ O ₈ до концентрации 1 мг/л, [Ag ⁺] до концентрации 0,02 мг/л, [Cu ⁺²] до концентрации 0,07 мг/л, [Zn ⁺²] до концентрации 3,0 мг/л	Термотолерантные колиформные бактерии, КОЕ в 100 мл: 2,6 · 10 ³	25	1		Отсутствие	Отсутствие
	Общие колиформные бактерии, КОЕ в 100 мл: 2,6 · 10 ³	25	1		Отсутствие	Отсутствие
Na ₂ S ₂ O ₈ до концентрации 3 мг/л, [Ag ⁺] до концентрации 0,03 мг/л, [Cu ⁺²] до концентрации 0,5 мг/л, [Zn ⁺²] до концентрации 4,0 мг/л	Термотолерантные колиформные бактерии, КОЕ в 100 мл: 3,2 · 10 ³	15		Отсутствие		Отсутствие
	Общие колиформные бактерии, КОЕ в 100 мл: 3,2 · 10 ³	15		Отсутствие		Отсутствие
Na ₂ S ₂ O ₈ до концентрации 5 мг/л, [Ag ⁺] до концентрации 0,05 мг/л, [Cu ⁺²] до концентрации 1,0 мг/л, [Zn ⁺²] до концентрации 5,0 мг/л	Термотолерантные колиформные бактерии, КОЕ в 100 мл: 3,2 · 10 ³	10	Отсутствие			Отсутствие
	Общие колиформные бактерии, КОЕ в 100 мл: 3,2 · 10 ³	10	Отсутствие			Отсутствие

Из таблицы также видно, что при открытом хранении обеззараженной воды в течение одного месяца не происходит её вторичное бактериальное заражение.

Таким образом, данный способ, являющийся эффективным, относительно простым, доступным и обеспечивающим высокое качество обработки воды, может быть рекомендован для обеззараживания воды бассейнов. Персульфат натрия в отличие от хлора не требует особых условий хранения.

Список литературы

1. Фрог, Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 680 с.
2. Пат. 5858246 US, С 02 F 1/50, 1999. Method of water purification with oxides of chlorine / John D. Rafter, Joseph W. Grenier, Raymond P. Denkewicz, Jr.; заявл. 14.01.1997; опубл. 12. 01. 1999.
3. Пат. 5332511 US, С 02 F 1/50, 1994. Process of sanitizing swimming pools, spas and, hot tubs / Walter A. Gay, Bonnie B. Sandel, Jayne F. Carney; заявл. 25.06.1993; опубл. 26.07.1994.
4. Пат. 2182123 Российской Федерации, МКИ С 02 F 1/50. Способ обеззараживания воды с использованием озона и ионов меди / В.В. Гутенев, О.И. Монтвила, А.И. Ажгиревич, И.А. Денисова; заявл. 04.07.01; опубл. 10.05.02, Бюл. № 13.
5. Пат. 2182124. Российской Федерации, МКИ С 02 Р 1/50,1/78, С 02 Р 103:04. Способ обеззараживания воды с использованием озона и ионов серебра / В.В. Гутенев, А.И. Ажгиревич, О.И. Монтвила, Е.Н. Гутенева; заявл. 04.07.01; выдан 10.05.02, Бюл. № 13.
6. Пат. 2182125 Российской Федерации, МКИ С 02 F 1/50. Комбинированный способ обеззараживания воды / В.В. Гутенев, В.Л. Рождественский, О.И. Монтвила, И.А. Денисова; заявл. 31.07.01; опубл. 10.05.02, Бюл. № 13.

7. ТУ 6-09-2869-78. Натрий надсерноокислый (натрий персульфат) чистый и чистый для анализа.
8. Пат. 2524944. Российской Федерации, МКИ C02F1/50 Способ обеззараживания воды / Ю.П. Перельгин, В.В. Покшин, А.А. Краснощеков, В.И. Волчихин; заявл: 9.11.12, опубл: 10.08.14, Бюл. № 22.
9. МУК 4.2.1018-01. Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды. Методические указания / Минздрав России. – М., 2001.
10. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Минздрав России. – М., 2000.
11. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества / Минздрав России. – М., 2001.
12. СанПиН 2.1.2.1188-03. Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества / Минздрав России. – М., 2003.

References

1. Frog, B. N. Water treatment / B. N. Frog, A. P. Levchenko. – М.: Publishing house of Moscow state University. 2003. – 680 p.
2. Patent 5858246 US, C 02 F 1/50, 1999. Method of water purification with oxides of chlorine / John D. Rafter, Joseph W. Grenier, Raymond P. Denkewicz, Jr.; Stated 14. 01. 1997; Published 12. 01. 1999.
3. Patent 5332511 US, C 02 F 1/50, 1994. Process of sanitizing swimming pools, spas and hot tubs / Walter A. Gay, Bonnie B. Sandel, Jayne F. Carney; Stated 25.06.1993; Published 26. 07. 1994.
4. Patent 2182123 Russian Federation, МКИ C 02 F 1/50. Method of water disinfection using ozone and copper ions / V.V. Gutenev, I.O. Montville, A.I. Azhgirevich, I.A. Denisova; Appl. 04.07.01; Published 10.05.02, bull. №13.
5. Patent 2182124 of the Russian Federation, МКИ C 02 P 1/50, 1/78, P 103 02:04. Method of water disinfection using ozone and silver ions / V.V. Gutenev, A.I. Azhgirevich, O. I. Montville, E. N. Guteneva ; Appl. 04.07.01 ; issued 10.05.02, Published №13.
6. Patent 2182125 of the Russian Federation, МКИ C 02 F 1/50. A combined method of disinfection of water / V. V. Gutenev, L. V. Rozhdestvensky, O. I. Montville, I. A. Denisov; Appl. 31.07.01; Published 10.05.02, bull. №13.
7. Specifications 6-09-2869-78. Neccessarily Sodium (sodium persulfate) pure and pure for analysis.
8. Patent 2524944 of the Russian Federation, МКИ C02F1/50 Method of water disinfection / Yu.P. Perelygin, V.V. Parshin, A.A. Krasnoshchekov, V.I. Volchikhin; Appl: 9.11. 12, Published 10.08.14, bull. № 22.
9. МУК 4.2.1018-01 Sanitary-microbiological analysis of drinking water. Methodical instruction / The Ministry Of Health. – М., 2001.
10. SanPIN 2.1.5.980-00 Hygienic requirements for surface water protection / The Ministry Of Health. – М., 2000.
11. SanPIN 2.1.4.1074-01 Drinking water. Hygienic requirements to water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control / The Ministry Of Health. – М., 2001.
12. SanPiN 2.1.2.1188-03 Swimming pools. Hygienic requirements for design, operation and water quality. Quality control / The Ministry Of Health. – М., 2003.

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

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор, зав.
кафедрой «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Бикунова Марина Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»

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

Вилкова Наталья Георгиевна,
доктор химических наук, профессор
кафедры «Физика и химия»
Пензенский государственный университет
Россия, 440026, Пенза, ул. Красная, 40,
тел. (8412)-36-82-70

Перельгин Юрий Петрович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Химия»
E-mail: pyp@pnzgu.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 Mikchailovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Bikunova Marina Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»

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

Vilkova Natalya Georgievna,
Doctor of Chemistry Sciences, Professor, of
the department «Physics and chemistry»
Penza State University
Russia, 440026, Penza, 40, Krasnaya St.,
tel. (8412)-36-82-70

Perelygin Yuri Petrovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
Department «Chemistry»
E-mail: pyp@pnzgu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕВЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В ТЕХНОЛОГИЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Б.М. Гришин, Ю.П. Перельгин, М.В. Бикунова, Н.Н. Ласьков, Н.Г. Вилкова

Рассмотрены конструкции вихревых смесительных устройств (ВСУ), а также технологические схемы механической и физико-химической очистки сточных вод, в которых данные устройства используются. Приведены результаты производственных испытаний, подтверждающие высокую эффективность работы ВСУ, позволяющих снизить энергозатраты и расходы реагентов при удалении из воды различных видов загрязнений.

Ключевые слова: сточные воды, механическая очистка, отстаивание, физико-химическая очистка, флотация, коагуляция, вихревые смесительные устройства

USE OF VORTEX MIXING DEVICES IN WASTE WATER MECHANICAL AND PHYSICAL-CHEMICAL PURIFICATION TECHNOLOGIES

B.M.Grishin, Yu.P. Perelygin, M.V.Bikunova, N.N. Laskov, N.G. Vilkova

The constructions of vortex mixing devices (VMD) and technological schemes of waste water mechanical and physical-chemical purification with application of VMD are considered. Results of industrial tests confirm the high efficiency of VMD operation, which allows to reduce energy and reagent expenditures for different pollutions removal from water.

Keywords: waste water, mechanical purification, settling, physical-chemical purification, flotation, coagulation, vortex mixing devices

Для интенсификации процессов физико-химической и механической очистки сточных вод в течение ряда лет успешно применяются вихревые смесительные устройства, обладающие высокими массообменными характеристиками.

Ниже даются краткий обзор конструкций ВСУ, анализ их работы, а также описание технологических схем с использованием ВСУ на очистных сооружениях городских и промышленных сточных вод.

1. Предварительная обработка городских сточных вод на канализационных очистных сооружениях (КОС)

При очистке городских сточных вод важную роль играет первичное отстаивание как наименее энергоёмкий и дешёвый метод выделения из стоков грубодисперсных минеральных и органических примесей.

Одним из наиболее перспективных методов интенсификации первичного отстаивания является метод биофлокуляционной обработки сточных вод с использованием избыточного активного ила. Проведение процесса смешения городских сточных вод с активным илом в центробежном поле ВСУ или вихревого гидродинамического устройства (ВГДУ) с использованием избыточной энергии потока сточных вод в присутствии диспергированных пузырьков воздуха позволяет интенсифицировать процесс биофлокуляции и осуществить отмывку песчаных частиц от налипших на них органических загрязнений.

Общий вид ВГДУ представлен на рис. 1.

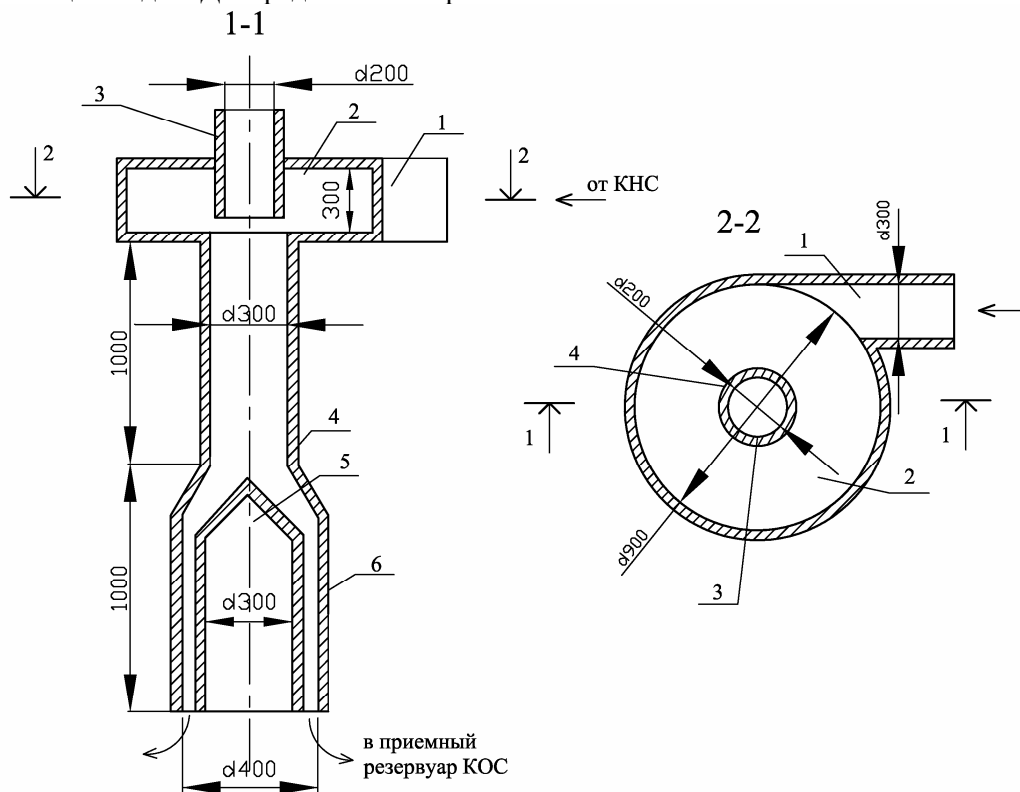


Рис.1. Схема вихревого гидродинамического устройства:

- 1 – патрубок входа; 2 – камера входа; 3 – воздушный патрубок; 4 – вихревая камера; 5 – тело обтекания; 6 – камера смешения; КНС – канализационная насосная станция

Сточные воды, перекачиваемые на КОС под избыточным напором, подаются через патрубок 1, тангенциально присоединенный к камере входа 2, в которой создается вращательное движение жидкости. Угловая скорость закрутки потока при переходе потока в вихревую камеру 4 увеличивается прямо пропорционально квадрату отношения диаметров входной и вихревой камер. По оси входной камеры 2 создается область с пониженным давлением, в которую через патрубок 3 подсасывается атмосферный воздух, причем 1 м^3 сточных вод эжектирует до $0,4 \text{ м}^3$ атмосферного воздуха.

Вследствие интенсивного перемешивания сточных вод с воздухом в вихревой камере происходят насыщение сточных вод кислородом воздуха и отмывка мелких зерен песка от налипших органических загрязнений.

С целью проведения биофлокуляции в сточные воды перед ВГДУ подаётся избыточный активный ил. Содержащиеся в флокулах активного ила биополимеры (полисахариды, протеины, РНК и ДНК) обеспечивают образование мостиковых связей с содержащимися в сточных водах дисперсными частицами и выполняют роль флокулянтов. Биофлокуляция является одним из самых экономичных методов формирования агломераций взвеси в сточных водах перед их отстаиванием.

Предварительная обработка сточных вод в ВГДУ с добавлением избыточного активного ила позволяет существенно повысить эффективность удаления органических загрязнений и взвешенных веществ в первичном отстойнике. Понижение концентрации органических загрязнений в подаваемых после первичного отстаивания на биологическую очистку сточных водах приводит не только к уменьшению нагрузки на аэротенк, но и улучшению качества биологической очистки за счёт снижения доли органических загрязнений в виде грубодисперсных частиц, что повышает удельную скорость биохимического окисления [1, 2].

Производственные испытания ВГДУ при его работе на хозяйственно-бытовых сточных водах проводились на КОС г. Сердобска Пензенской области производительностью 17 тыс. м³/сут. Технологическая схема очистки сточных вод на КОС г. Сердобска показана на рис. 2.

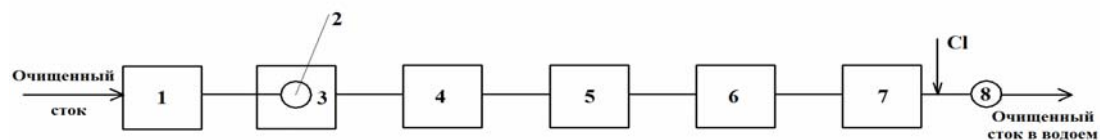


Рис. 2. Технологическая схема очистки хозяйственно-бытовых сточных вод на КОС г. Сердобска:
1 – канализационная насосная станция; 2 – ВГДУ; 3 – приёмный резервуар; 4 – песколовка;
5 – первичный отстойник; 6 – аэротенк; 7 – вторичный отстойник; 8 – контактный резервуар;
Cl – ввод хлора

Данные, полученные в ходе производственных испытаний, показали, что внедрение технологии предварительной обработки сточных вод в ВГДУ позволило достичь следующих положительных результатов:

- 1) повысился эффект очистки в первичных отстойниках по органическим загрязнениям (БПК₅) с 5...20 до 30...39 %; по взвешенным веществам – с 11...52 до 70-75 %;
- 2) уменьшилась нагрузка на аэротенк по органическим загрязнениям (БПК₅) в 1,31–1,36 раза, снизилось количество грубодисперсных взвешенных веществ, поступающих в аэротенк, в 1,8–2,1 раза;
- 3) увеличилась зольность улавливаемого с песколовки осадка с 74 до 92 % и уменьшился проскок мелких фракций песка в первичные отстойники, что улучшило работу илосборников.

2. Флотационная очистка нефтесодержащих сточных вод

Существенным фактором, влияющим на степень флотационной очистки сточных вод, является способ приготовления газожидкостной смеси, подаваемой во флотатор [3, 4]. Разработка смесителей нового типа, создающих водовоздушную смесь требуемого дисперсного состава, позволяет экономично и эффективно осуществлять процесс флотации. В качестве таких смесителей могут быть использованы компактные ВСУ, простые в эксплуатации и не требующие значительных затрат при изготовлении [5, 6].

Схема узла диспергирования водовоздушной смеси с использованием ВСУ показана на рис. 3. Процесс смешения возвратной воды и сжатого воздуха осуществляется в вихревом смесительном устройстве (ВСУ) первой ступени, работающем по принципу вихревого эжектора с тангенциальной подачей воды во входную камеру I и вводом воздуха через центральный патрубок 4, установленный на крышке входной камеры ВСУ. Конструктивные параметры ВСУ первой ступени определяются по расчетам, применяемым для определения размеров вихревых эжекторов.

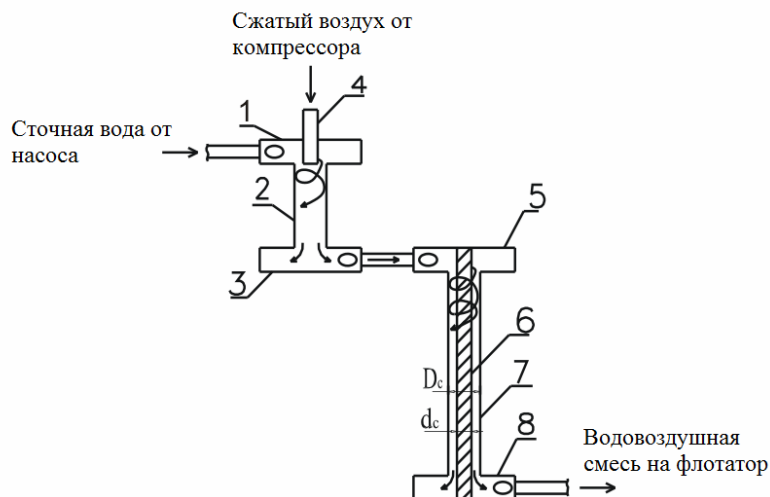


Рис. 3. Схема узла диспергирования водовоздушной смеси:

- 1, 3 – входная и выходная камеры вихревого смесительного устройства первой ступени;
 2 – камера смешения; 4 – патрубок подачи сжатого воздуха; 5, 8 – входная и выходная камеры эмалированного ВСУ второй ступени; 6 – тело обтекания (стержень);
 7 – ствол (вихревая камера)

Водовоздушная смесь из ВСУ первой ступени поступает во входную камеру 5 ВСУ второй ступени и далее направляется в кольцевой зазор устройства, образующийся между центральным стержнем 6 и стенкой вихревой камеры 7 для интенсивного диспергирования воздушных пузырьков. Поверхность вихревого смесительного устройства (стержня и вихревой камеры) покрывается силикатной стекломалью МК-5, позволяющей уменьшить потери удельной энергии при движении потока в кольцевом пространстве ствола ВСУ [7].

Производственные испытания ВСУ были проведены после реконструкции станции очистки нефтесодержащих производственных сточных вод ОАО «Пензадизельмаш» г. Пензы производительностью 500 м³/сут.

Насыщение воды воздухом до реконструкции осуществлялось эжектором и сатуратором, установленными на рециркуляционной линии флотатора, при этом величина рециркуляции составляла 50 % от расхода очищаемой воды. После реконструкции на одном из флотаторов эжектор и сатуратор были заменены на ВСУ первой и второй ступеней, воздух в которые подавался компрессором.

Схема флотатора с ВСУ показана на рис. 4.

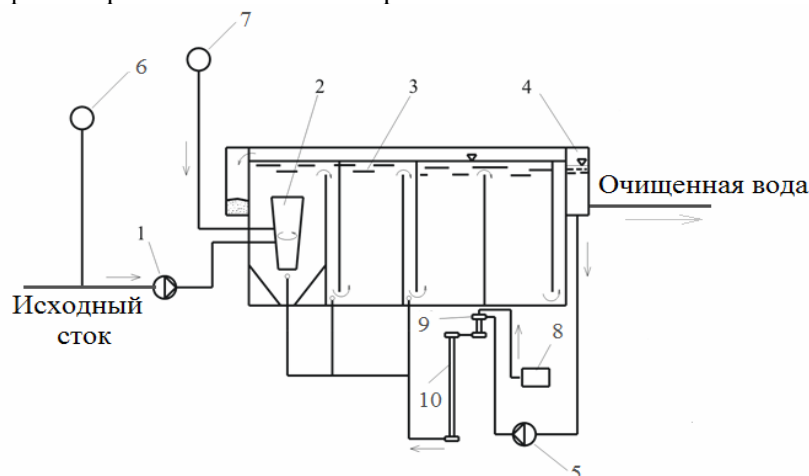


Рис. 4. Схемы очистки производственных сточных вод ОАО «Пензадизельмаш»:

- 1 – подающий насос; 2 – гидроциклонный смеситель; 3 – флотатор; 4 – водоприемный лоток;
 5 – рециркуляционный насос; 6, 7 – насосы-дозаторы коагулянта и флокулянта; 8 – компрессор;
 9, 10 – ВСУ первой и второй ступеней

Результаты сравнительных испытаний флотационной очистки стоков до и после реконструкции показаны в таблице.

Результаты сравнительных испытаний технологий очистки промышленных сточных вод

Режим работы станции очистки производственных сточных вод	Показатели			
	Концентрация загрязнений на входе во флотатор <u>нефтепрод.</u> , взвесь мг/л	Газонасыщение флотационного объема, %	Дозы коагулянта сернокислого алюминия, мг/л	Концентрация загрязнений на выходе из флотатора <u>нефтепрод.</u> , взвесь мг/л
1	2	3	4	5
До реконструкции	<u>18-38</u> 32-56	1,2-1,5	38-42	<u>3,2-4,0</u> 17,5-19
После реконструкции	<u>19-34</u> 34-55	7,8-8,2	18-20	<u>3,0-3,8</u> 15-17

Как показал анализ полученных данных, применение ВСУ за счет более высокого газонасыщения водовоздушной смеси позволяет улучшить эффективность флотационной очистки сточных вод от нефтепродуктов на 5–7 % и от взвешенных веществ на 10–12 % при меньших (в 1,3–1,5 раза) дозах коагулянта по сравнению с технологией напорной флотации.

ВЫВОДЫ

1. Сделан анализ работы различных конструкций вихревых смесительных устройств, применяемых в технологических схемах механической и физико-химической очистки сточных вод для повышения эффекта удаления органических и минеральных примесей.

2. Использование вихревых смесительных устройств в процессе механической и физико-химической очистки воды позволяет существенно снизить энергозатраты, расходы реагентов, а также улучшить экологическое состояние водных объектов.

Список литературы

1. Новая технология интенсификации работы городских канализационных очистных сооружений с применением вихревых гидродинамических устройств / С.Ю. Андреев [и др.] // Водочистка. – 2012. – №6. – С. 46–56.
2. Повышение эффективности процесса первичного осветления сточных вод с применением флокуляции / Е.А. Титов, М.А. Сафронов, А.С. Кочергин, А.М. Титанов // Молодой учёный. – 2015. – №9, ч. 2. – С. 327–330.
3. Гришин, Б.М. Технология подготовки водовоздушной смеси для флотационной очистки нефтесодержащих сточных вод / Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, А.В. Демков // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2015. – №1–2 (35–36) – С. 98–103.
4. Коагуляционная обработка воды в присутствии диспергированных пузырьков воздуха / К.Л. Чертес, М.А. Сафронов, А.С. Кочергин, Е.А. Титов // Водочистка. – 2015. – №3. – С. 26–33.
5. Теоретические и экспериментальные исследования флотационной очистки нефтесодержащих производственных сточных вод с применением вихревых смесительных устройств / Б.М. Гришин, С.Ю. Андреев, В.Г. Камбург, В.В. Демидочкин // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №1. – С. 99–106.

6. Флотационная очистка нефтесодержащих сточных вод с применением вихревых смесительных устройств / С.Ю. Андреев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2009. – №1. – С. 92–97.

7. Исследование вихревых смесительных устройств с эмалевыми покрытиями для интенсификации работы флотационных установок / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, Л.Б. Гришин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2008. – № 11–12. – С. 43–49.

References

1. New technology of urban sewage purification works with use vortex hydrodynamic devices / S.Yu. Andreev [etc.] // Water purification. – 2012. – № 6. – P. 46–56.

2. Increase of waste water primary clarification process with use flocculation / E.A. Titov, M.A. Safronov, A.S. Kochergin, A.M. Titanov // Young scientist. – 2015. – №9, part. 2. – P. 327–330.

3. Grishin, B.M. Technology of air-water mixture preparation for oil contained waste water float purification / B.M. Grishin, M.V. Bikunova, A. V. Demkov // New university. Series: Technical sciences. – 2005. – №1–2 (35–36). – P. 98–103.

4. Coagulation treatment of water in presence divided air bubbles / K.L. Chertes, M.A. Safronov, A.S. Kochergin, E.A. Titov // Water purification. – 2015. – №3. – P. 26–33.

5. Theoretical and experimental investigations of oil contained industrial waste water with use vortex mixing devices / B.M. Grishin, S.Yu. Andreev, V.G. Kamburg, V.V. Demidochkin // Regional architecture and engineering. – 2012. – №1. – P. 99–106.

6. Float purification of oil contained waste water with use vortex mixing devices / S.Yu. Andreev, B.M. Grishin, L.B. Grishin, E.A. Savitsky // Regional architecture and engineering. – 2009. – №1. – P. 92–97.

7. Investigation of vortex mixing devices with enamel coating for float plants work intensification / S.Yu. Andreev, B.M. Grishin, M.V. Bikunova, L.B. Grishin // News of higher educational institutions. Construction. – 2008. – №11–12. – P. 43–49.

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

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Кошев Александр Николаевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»

Бикунова Марина Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: mar-bikunova@yandex.ru

Сафронов Максим Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: voda@pguas.ru

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

Grishin Boris Mikchailovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Koshev Aleksandr Nikolaevich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Information and computing
systems»

Bikunova Marina Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: mar-bikunova@yandex.ru

Safronov Maxim Aleksandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: voda@pguas.ru

РЕАГЕНТНОЕ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

Б.М. Гришин, А.Н. Кошев, М.В. Бикунова, М.А. Сафронов

Приведены данные экспериментальных исследований по удалению из подземной воды органических форм железа и мутности с применением коагуляции, аэрации и наложением электрического поля. Показана степень влияния режимов перемешивания коагулянта с обрабатываемой водой в электрогидродинамическом устройстве на эффективность последующей очистки воды фильтрованием через песчаную загрузку.

Ключевые слова: подземные воды, железоорганические комплексы, мутность, коагуляция, полиоксихлорид алюминия, аэрация, электрогидродинамическое устройство, фильтрование

IRON REMOVAL FROM UNDERGROUND WATER WITH USE REAGENTS AND ELECTRICAL HYDRODYNAMICS DEVICE

B.M.Grishin, A.N. Koshev, M.V.Bikunova, M.A. Safronov

Experimental data about organic forms of iron and turbidity removal from underground water with use coagulation, aeration and electric field application is given. Influence of coagulant and treated water mixing into electrical hydrodynamics device on efficiency of following water purification by means filtration through sand load is shown.

Keywords: underground water, iron and organic complexes, turbidity, coagulation, poly aluminium chloride, aeration, electrical hydrodynamics device, filtration

В подземных водах концентрации растворённого и нерастворённого железа могут достигать высоких значений. Содержание соединений железа в водопроводной воде, потребляемой населением, согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 не должно превышать 0,3 мг/л, а для некоторых отраслей промышленности (текстильной, химической, целлюлозно-бумажной, теплоэнергетики) остаточные концентрации железа в очищенной воде не должны превышать 0,1 мг/л.

Одной из наиболее сложных проблем при обезжелезивании воды является удаление из неё органических форм железа, которые образуются при наличии в воде повышенных значений перманганатной окисляемости (до 15 мгО₂/л и более). Органические формы железа удаляются из воды реагентными методами совместно с аэрацией [1-5]. Для активации действия реагентов используется воздействие на обрабатываемую воду электрического поля, которое осуществляется в электрогидродинамических устройствах (ЭГДУ) [6 – 8].

В ЭГДУ реализуются следующие процессы:

- насыщение подземной воды кислородом воздуха;
- введение раствора коагулянта и осуществление начальной стадии процесса хлопьеобразования;
- обработка водовоздушной смеси постоянным электрическим током;
- создание высокоградиентного перемешивания водовоздушной смеси и раствора коагулянта.

Для изучения совместного действия методов реагентной обработки, аэрации и электроактивации в ЭГДУ при удалении железоорганических комплексов и взвешенных веществ были проведены экспериментальные исследования на подземной воде, добываемой с одной из скважин г. Кузнецка Пензенской области.

Состав подземной воды относительно постоянен по сезонам года и характеризуется следующими показателями: рН 6,8-7,0, цветность 18-20 град; мутность 16-18 мг/л, жесткость 1,3-1,4 ммоль/л, хлориды 2-3 мг/л, сульфаты 14-18 мг/л, железо 4,8-5,3 мг/л, перманганатная окисляемость 7-10 мгО₂/л.

Схема лабораторной установки реагентного обезжелезивания подземной воды ТЭЦ-3 г.Кузнецка показана на рис. 1.

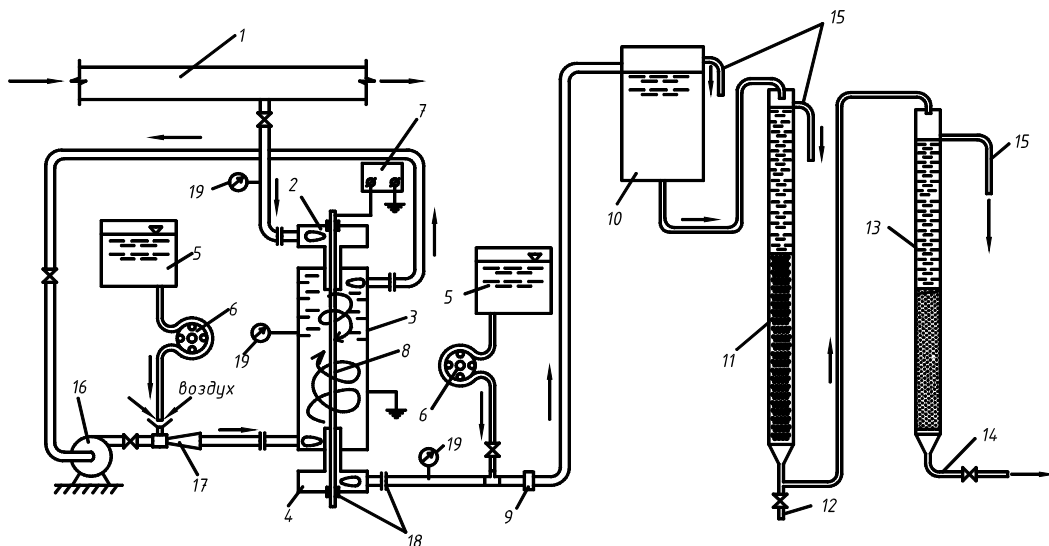


Рис.1. Схема лабораторной установки реагентного обезжелезивания с ЭГДУ:

- 1 – напорный трубопровод; 2 – входная камера; 3 – корпус ЭГДУ; 4 – выходная камера;
- 5 – расходные баки реагентов; 6 – насосы-дозаторы реагентов; 7 – источник постоянного тока;
- 8 – центральный стержень; 9 – дросселирующее устройство; 10 – воздухоотделитель;
- 11 – контактный фильтр; 12 – патрубок отбора проб; 13 – осветлительный фильтр; 14 – отвод очищенной воды;
- 15 – переливной трубопровод; 16 – циркуляционный насос; 17 – эжектор;
- 18 – диэлектрические вставки; 19 – манометры

Вода из напорного трубопровода 1 артезианской скважины под избыточным напором $(1,9-2) \cdot 10^5$ Па подавалась во входную камеру 2 ЭГДУ. За счет патрубков, тангенциально присоединенных к входной 2 и выходной 4 камерам, в центральной части корпуса 3 ЭГДУ создавался внутренний нисходящий вихрь водовоздушной смеси. Одновременно с помощью тангенциального забора из корпуса 3 и тангенциальной подачи водовоздушной смеси циркуляционным насосом 16 обратно в корпус 3 на периферии ЭГДУ создавался внешний восходящий вихрь, имеющий противоположное направление вращения по отношению к внутреннему нисходящему потоку. Вследствие такой организации движения достигалось более полное смешение коагулянта с водой, а также увеличивалась степень диспергирования пузырьков воздуха во всем объеме корпуса 3. Габаритные размеры лабораторного ЭГДУ:

- диаметры входной и выходной камер – 150 мм
- диаметр корпуса – 150 мм
- диаметр центрального стержня – 2 мм
- общая высота – 480 мм
- материал ЭГДУ – нержавеющая сталь.

Концентрация воздуха в ЭГДУ за счёт рециркуляции поддерживалась в пределах $\varphi=0,05-0,06$.

На лабораторной установке было предусмотрено введение реагентов в двух точках:

- раствора коагулянта в воздушный патрубок эжектора 17 на рециркуляционной линии ЭГДУ;
- раствора флокулянта в отводящий трубопровод водовоздушной смеси от ЭГДУ перед дросселирующим устройством 9.

Дозирование реагентов выполнялось из расходных баков 5 двумя перистальтическими насосами-дозаторами 6. Через воздушный патрубок эжектора 17 осуществлялся также забор атмосферного воздуха, который смешивался вначале с рециркуляционным потоком, а затем и со всем объемом воды в корпусе ЭГДУ.

В качестве коагулянта использовался полиоксихлорид алюминия (ПОХА) «АКВА-АУРАТ-30» с содержанием оксида алюминия 30 %, а в качестве флокулянта – полиакриламид (ПАА).

Обработка подземной воды в ЭГДУ осуществлялась при напряжении на электродах 48 В и катодной поляризации центрального стержня, при этом удельное количество электричества составляло порядка $8 \cdot 10^{-2}$ А·ч/м³. После ЭГДУ вода направлялась в воздухоотделитель 10 и далее в контактный 11 и осветлительный 13 фильтры. В осветлительный фильтр засыпался кварцевый песок крупностью $d_n=0,8-1,2$ мм толщиной 1,0 м, скорость фильтрования поддерживалась в пределах $v_\phi=5-5,5$ м/ч. В контактном фильтре 11 для образования в воде прочных агрегатов скоагулированных примесей использовалась крупнозернистая загрузка из гранитного щебня крупностью d_k от 10 до 30 мм толщиной 1,5 м. Скорость фильтрования через контактный фильтр составляла 20-25 м/ч.

Режим перемешивания подземной воды с реагентами в ЭГДУ оценивался критерием Кэмпфа

$$K = \sqrt{\frac{\Delta p \cdot t}{\mu_c}}, \quad (1)$$

где Δp – потери давления в ЭГДУ, Па; t – время нахождения водовоздушной смеси в ЭГДУ, с; μ_c – динамический коэффициент вязкости водовоздушной смеси, Па·с.

Величина μ_c находилась с учётом воздухомыщения смеси φ :

$$\mu_c = \nu_v \cdot (1 + 4,5\varphi) \cdot \rho_v, \quad (2)$$

где ν_v и ρ_v – соответственно кинематический коэффициент вязкости, м²/с, и плотность, кг/м³, воды.

Целью экспериментов являлось выявление зависимости эффективности очистки воды по органическим формам железа и мутности от доз коагулянта ПОХА, флокулянта ПАА и режимов перемешивания реагентов с водовоздушной смесью в ЭГДУ. Эффект очистки воды определялся по формуле

$$\Theta = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где C_0 и C – соответственно концентрации загрязняющих веществ в исходной и очищенной воде, мг/л.

В ходе лабораторных испытаний величина потерь напора давления Δp в ЭГДУ варьировалась от $0,2 \cdot 10^5$ до $0,7 \cdot 10^5$ Па, время обработки воды в ЭГДУ изменялось в пределах 30-35 с. При таких условиях перемешивания минимальное значение критерия Кэмп составляло $K_{\min} = 22360$, а максимальное значение $K_{\max} = 45180$.

Концентрации железа в исходной и очищенной воде определялись сульфосалициловым методом, а для определения мутности использовался весовой метод [9].

Результаты экспериментов по удалению железа и взвешенных веществ из подземной воды при её обработке в ЭГДУ реагентами ПОХА и ПАА и последующей очистке фильтрованием показаны на рис. 2 и 3.

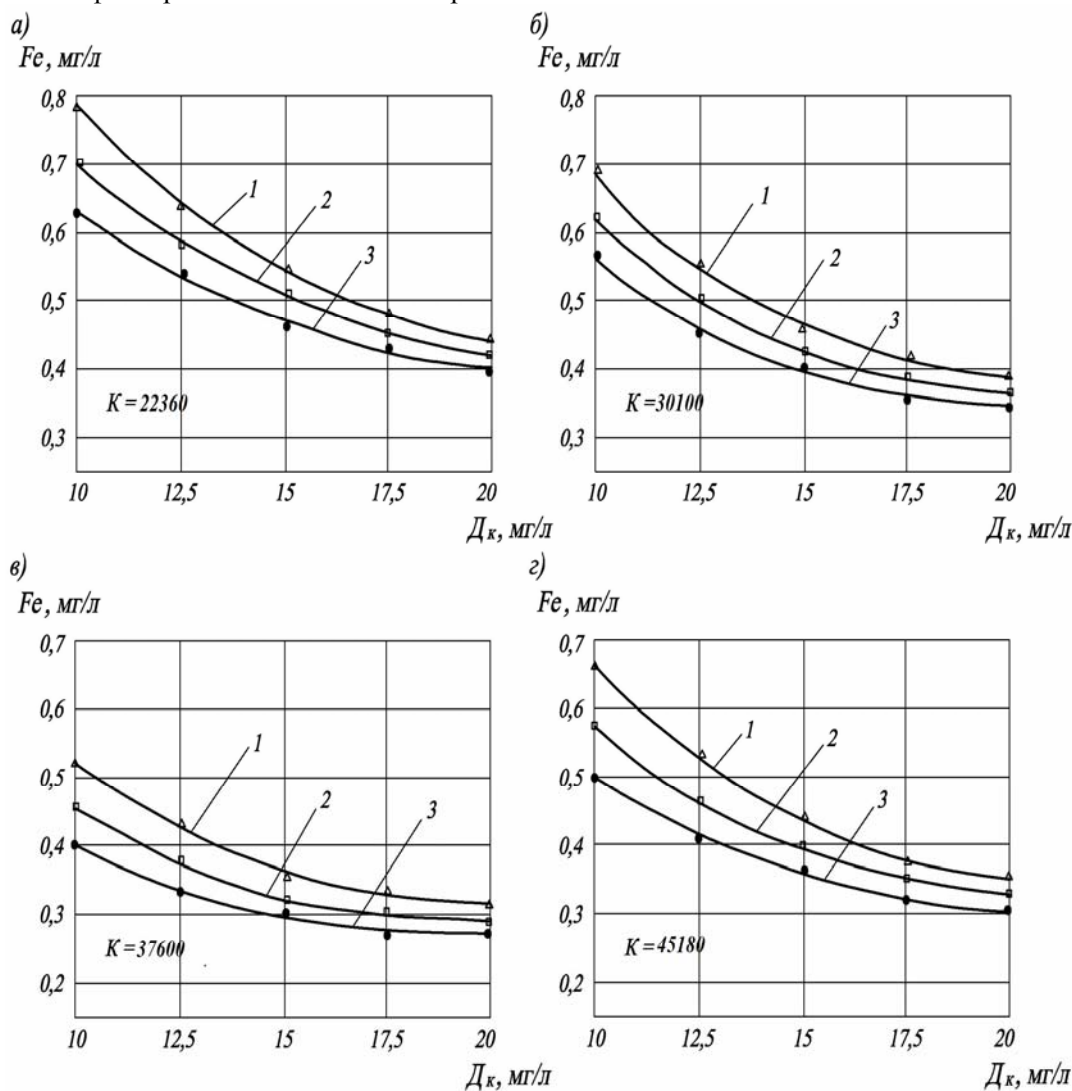


Рис. 2. Графики зависимостей остаточного содержания в воде железа от доз коагулянта ПОХА (D_k) и флокулянта ПАА (D_f) при различных значениях критерия Кэмп (K):
1 – $D_f = 0,1$ мг/л; 2 – $D_f = 0,2$ мг/л; 3 – $D_f = 0,3$ мг/л

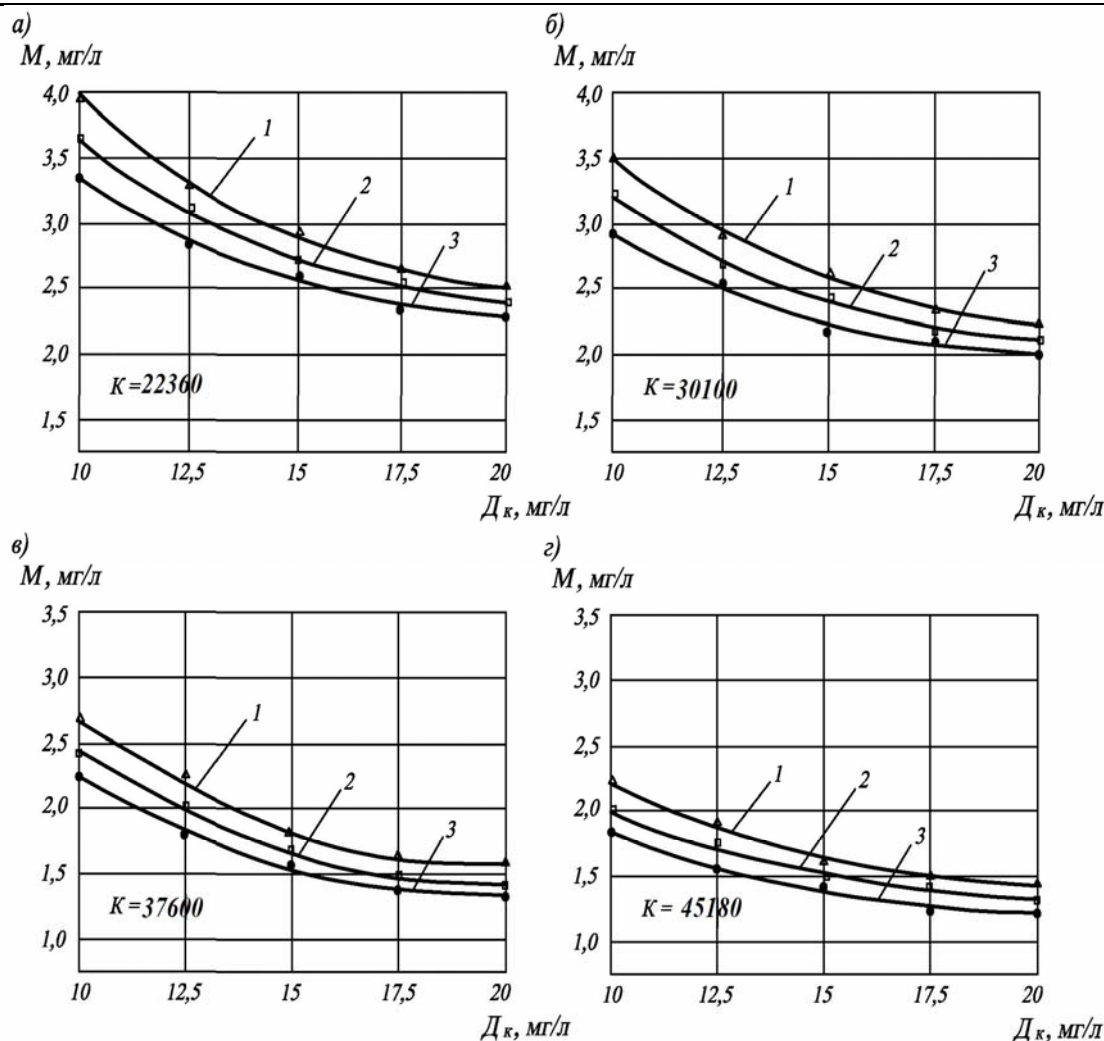


Рис. 3. Графики зависимостей остаточного содержания в воде взвешенных веществ от доз коагулянта ПОХА (D_k) и флокулянта ПАА (D_f) при различных значениях критерия Кэмп (К): 1 – $D_f=0,1$ мг/л; 2 – $D_f=0,2$ мг/л; 3 – $D_f=0,3$ мг/л

Анализ графиков показал, что эффективность удаления из воды железоорганических комплексов (см. рис. 2) при $D_k = \text{const}$ находится в прямой зависимости от дозы флокулянта D_f , при этом эффект очистки был в пределах от 91 до 94,6 %. При $D_k = 20$ мг/л увеличение дозы флокулянта D_f с 0,1 до 0,3 мг/л приводило к улучшению эффекта очистки $\Delta\epsilon$ в среднем на 2 % во всём диапазоне величин критерия Кэмп. Что касается влияния режимов перемешивания на степень очистки, то наиболее оптимальным являлся диапазон значений критерия Кэмп $K=(3,7-3,8) \cdot 10^4$.

В данной области значений критерия Кэмп остаточное содержание железа в очищенной воде, соответствующее нормативным требованиям для населения ($Fe \leq 0,3$ мг/л), наблюдалось при D_k от 15 до 17 мг/л и D_f от 0,2 до 0,3 мг/л (см. рис. 2, в). Увеличение критерия Кэмп до значений порядка $(4,2 - 4,5) \cdot 10^4$ привело к ухудшению качества очистки (см. рис. 2, г), вероятно, вследствие разрушения непрочных агрегативных структур коагулянта с органическим железом.

Анализ экспериментальных данных по извлечению из воды взвешенных веществ (см. рис. 3) показал, что имеет место достаточно четко выраженная зависимость между эффектом очистки и увеличением значений критерия Кэмп при $D_k = \text{const}$ и $D_f = \text{const}$. Снижение концентраций взвешенных веществ (мутности) в воде после фильтрования до нормативных значений ($M \leq 1,5$ мг/л) наблюдалось при величинах К свыше $3,7 \cdot 10^4$. Так, например, остаточная мутность воды менее 1,5 мг/л была получена при $K=37600$, дозе коагулянта $D_k=17,5$ мг/л и дозах флокулянта D_f 0,2 и 0,3 мг/л (см. рис. 3, в), а

также при $K=45180$, дозе коагулянта $D_k=15$ мг/л и дозах флокулянта D_f 0,1 и 0,2 мг/л (см. рис. 3,г). Эффект очистки по взвешенным веществам находился в пределах от 85,2 до 92,9 % для всей серии экспериментов.

Содержание железа и взвешенных веществ в очищенной воде ниже нормативных концентраций, требуемых СанПиН 2.1.1074-01, после её обработки традиционным способом (аэрация 5 мин с механическим перемешиванием при $K=5 \cdot 10^4$) и фильтрования было получено только при весьма высоких дозах реагентов ($D_k=32-35$ мг/л и $D_f=0,5$ мг/л).

Анализ результатов лабораторных испытаний, полученных для перманганатной окисляемости (ПО) в воде, обработанной в ЭГДУ с реагентами и воздухом, показал плавное снижение значений ПО с 5,5–6,0 до 3,2–3,8 мгО₂/л (фильтрат) при увеличении доз коагулянта D_k с 12 до 20 мг/л и доз флокулянта D_f от 0,1 до 0,2 мг/л. Снижение ПО в фильтрате до нормативных значений (ПО ≤ 5 мгО₂/л) при традиционном реагентном способе обработки воды с аэрацией и механическим перемешиванием было достигнуто при дозах коагулянта $D_k=30-32$ мг/л и $D_f=0,5$ мг/л.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально установлен характер влияния режимов перемешивания обрабатываемой подземной воды с коагулянтом полиоксихлоридом алюминия, флокулянтом ПАА и воздухом в ЭГДУ на степень её последующей очистки от соединений органического железа и мутности фильтрованием через слой загрузки из кварцевого песка.

2. Режим перемешивания воды с коагулянтом и воздухом в ЭГДУ при удалении железоорганических комплексов имеет область оптимальных значений по критерию $K_{эмп}$ в пределах от $3,7 \cdot 10^4$ до $3,8 \cdot 10^4$.

Обработка воды в указанной области значений критерия $K_{эмп}$ позволяет более чем в 2 раза сократить расходы полиоксихлорида алюминия и ПАА по сравнению с традиционным способом реагентной обработки при обеспечении нормативных требований к очищенной воде по железу, мутности и перманганатной окисляемости.

Список литературы

1. Мясников, И.Н. Совершенствование очистки подземных вод для питьевого водоснабжения / И.Н. Мясников, В.А. Потанина, Ю.Б. Буков // Водоснабжение и санитарная техника. – 1999. – №7. – С. 11–12.
2. Николадзе, Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г.И. Николадзе. – М.: Стройиздат, 1980. – 160 с.
3. Николадзе, Г.И. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / Г.И. Николадзе, Д.М. Минц, А.А. Кастальский– М.: Высшая школа, 1984. – 368 с.
4. Николадзе, Г.И. Улучшение качества подземных вод / Г.И. Николадзе. – М.: Стройиздат, 1987. – 240 с.
5. Николадзе, Г.И. Обработка подземных вод для хозяйственно-питьевых нужд / Г.И. Николадзе // Водоснабжение и санитарная техника. – 1988. – №6. – С. 2–5.
6. Теоретическое обоснование использования электрогидродинамических устройств для обработки подземных вод, содержащих органические формы железа / Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, Т.В. Малютина, А.А. Зебрев // Альманах современной науки и образования. – 2014. – №7 (85). – С. 58–61.
7. Использование электрогидродинамических устройств для реагентной обработки подземных вод / Б.М. Гришин [и др.]// Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №1. – С. 121–127.
8. Очистка подземных вод от трудноокисляемых форм железа: монография / Б.М. Гришин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 124 с.
9. Новиков, Ю.В. Методы исследования качества воды водоёмов / Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкина, З.Н. Болдина. – М.: Медицина, 1990. – 400 с.

1. Myasnikov, I.N. Perfection of underground water purification for drinking water supply / I.N. Myasnikov, V.A. Potanina, Yu. B. Bukov // Water supply and sanitary engineering. – 1999. – №7. – P.11–12.
2. Nikoladze, G.I. Iron removal from nature and circulating water / G.I. Nikoladze. – M.: CIPH, 1980. – 160 p.
3. Nikoladze, G.I. Water preparation for drinking and industrial water supply / G.I. Nikoladze, D.M. Mintz, A.A. Kastalsky. – M.: Higher school, 1984. – 368 p.
4. Nikoladze, G.I. Underground water quality improvement / G.I. Nikoladze. – M.: CIPH, 1987. – 240 p.
5. Nikoladze, G.I. Underground water treatment for economic and drinking needs / G.I. Nikoladze // Water supply and sanitary engineering. – 1988. – №6. – P. 2–5.
6. Theoretical basis of electrical hydrodynamics devices use for organic iron contained underground water treatment / B.M. Grishin, M.V. Bikunova, T.V. Malyutina, A.A. Zebrev // Almanac of contemporary science and education. – 2014. – №7 (85). – P. 58–61.
7. Use of electrical hydrodynamics devices for underground water reagent treatment / B.M. Grishin [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2012. – №1. – P. 121–127.
8. Underground water purification from hardly oxidated forms of iron: monograph / B.M. Grishin [etc.]. – Penza: PGUAS, 2015. – 124 p.
9. Novikov, U.V. Methods of basin water quality investigations / U.V. Novikov, K.O. Lastochkina, Z.N. Boldina. – M.: Medicina, 1990. – 400 p.

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

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Камбург Владимир Григорьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»

Бикунова Марина Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: mar-bikunova@yandex.ru

Сафронов Максим Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: voda@pguas.ru

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

Grishin Boris Mikchailovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Kamburg Vladimir Grigoryevich,
Doctor of Sciences, Professor, of the
department «Information and computing
systems»

Bikunova Marina Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: mar-bikunova@yandex.ru

Safronov Maxim Aleksandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Water supply, sewerage and
hydraulic engineering»
E-mail: voda@pguas.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВИХРЕВЫХ КОАЛЕСЦИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРИ ОЧИСТКЕ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Б.М. Гришин, В.Г. Камбург, М.В. Бикунова, М.А. Сафронов

Сделан анализ работы устройств различных конструкций, в которых создаётся центробежное поле для коалесценции нефтяных капель, присутствующих в сточных водах нефтепромыслов. На основании экспериментальных данных доказана высокая эффективность применения вихревого коалесцирующего устройства с центральным телом обтекания в технологии очистки стоков от нефтяных и механических примесей.

Ключевые слова: нефтепромысловые сточные воды, нефтяные и механические примеси, гидроциклоны, сливные камеры, вихревое коалесцирующее устройство, отстаивание

RESEARCH OF VORTEX COALESCENCE DEVICES APPLIED UNDER OIL FIELD WASTE WATER PURIFICATION

B. M. Grishin, V. G. Kamburg, M. V. Bikunova, M. A. Safronov

Analysis of different centrifugal device constructions action for contained in oil field waste water oil drops coalescence is done. In virtue of experimental data high efficiency of vortex coalescence device with central streamlined bar for waste water purification from oil and mechanical pollutions is proved.

Keywords: oil field waste water, oil and mechanical pollutions, hydrocyclone, vortex coalescence device, settling

Нефтепромысловые сточные воды (НСВ) образуются на объектах добычи и промышленной подготовки нефти, представляют собой смесь пластовых (80-90 %), промышленных (5-7 %) и ливневых (2-10 %) вод, имеют суспензионно-эмульсионный характер, относятся к минерализованным, полидисперсным, микрогетерогенным системам. Концентрация нефти в НСВ может достигать десятков граммов на литр, а в тонкодисперсном состоянии до 500-600 мг/л, представленном в основном частицами нефти размером менее 10 мкм. Концентрация механических примесей (глины, песка) незначительна и колеблется в пределах 50-250 мг/л.

Очистка НСВ для повторного использования в системах заводнения нефтяных пластов заключается в удалении из стоков нефтяных частиц и механических примесей. Очистку НСВ осложняют наличие на частицах нефти адсорбционных («бронирующих») оболочек и стабилизированных агрегатов из частиц компонентов нефти и мехпримесей, плотность которых близка к плотности воды. Свойства НСВ, особенно состояние «бронирующих» оболочек, определяют методы очистки НСВ. Предварительная подготовка НСВ к очистке заключается в снижении агрегативной и кинетической устойчивости НСВ путем, главным образом, разрушения «бронирующих» оболочек на каплях нефти, препятствующих их коалесценции [1, 2].

Наиболее эффективно коалесценция капель нефти происходит при воздействии на поток обрабатываемых сточных вод центробежного поля, интенсивность которого оценивается универсальным параметром закрутки Θ .

$$\Theta = \frac{v_{ок}}{v_{ос}}, \quad (1)$$

где $v_{ок}$ и $v_{ос}$ – соответственно окружная и средняя осевая скорости, м/с, закрученного потока в расчетном сечении центробежного (вихревого) аппарата для обработки НСВ.

В центробежных аппаратах для слияния нефтяных капель используется, как правило, энергия относительного вращательного движения воды, сообщаемая ей низко- или средненапорным насосом.

В настоящее время широко используется технология очистки НСВ, которая предусматривает предварительное разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти, укрупнение и уменьшение полидисперсности капель нефти за счет гидродинамической обработки исходной НСВ в гидроциклонах и последующую очистку стоков в отстойниках.

Гидродинамическое воздействие на НСВ в полости гидроциклона способствует быстрому разрушению бронирующих оболочек на глобулах нефти, в целом интенсифицируя процесс последующей очистки [3, 4]. Недостатком гидроциклонов является малое время обработки НСВ (не более 1-3 с), не позволяющее в полной мере использовать энергию закрученных потоков для эффективной коалесценции капель нефти [5].

Наряду с гидроциклонами для интенсификации процессов разрушения нефтяных эмульсий промыслов, нашли широкое применение простые по конструкции и весьма эффективные в работе трубчатые гидродинамические каплеобразователи. Они имеют высокую удельную производительность, небольшие размеры, низкую металлоемкость, обладают возможностью использования в стесненных условиях. Наиболее эффективно работают горизонтальные трубчатые каплеобразователи, которые могут быть использованы одновременно в качестве коалесцирующих аппаратов и коммуникационных трубопроводов, обеспечивающих достаточно длительное время коалесценции капель нефти [6, 7].

Закрученные потоки на верхнем и нижнем сливах гидроциклона сильно турбулизированы, обладают большим запасом остаточной энергии, что может быть использовано для достижения высокого уровня коалесценции капель нефти НСВ [8, 9]. Применение трубчатых каплеобразователей в качестве коаксиально расположенных в горизонтальной плоскости сливных камер гидроциклона позволяет более полно использовать энергию закрученных потоков на его сливах и совместить преимущества

данных конструкций для интенсификации процессов коалесценции нефтяных капель в НСВ.

На рис. 1 представлены широко применяемые варианты схем обработки НСВ с использованием гидроциклонов и камер сливов.

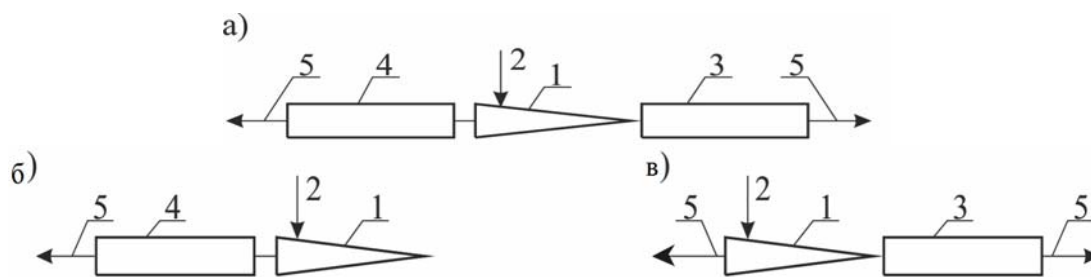


Рис. 1. Технологические схемы обработки НСВ в гидроциклонах с камерами слива:
1 – гидроциклон; 2 – питание; 3, 4 – камеры соответственно на нижнем и верхнем сливах;
5 – поступление обработанной НСВ на отстаивание

На базе гидроциклонов, оборудованных сливными камерами, разработаны промышленные установки БГКО (блок гидроциклон – камеры сливов – отстойник), успешно эксплуатирующиеся на ряде объектов нефтедобычи [10]. Результаты экспериментов, проведенных авторами [11], показали, что после обработки НСВ в гидроциклоне с двумя сливными камерами эффективность очистки отстаиванием по нефтепродуктам достигала 91 % при удельной энергоёмкости процесса коалесценции нефтяных капель в центробежном поле 0,45-0,53 кВт·ч на 1 м³ обрабатываемой воды. Оптимальные значения времени обработки НСВ в сливных камерах находились в пределах 18,5-24,5 с, а рекомендуемые значения параметров закрутки Θ_v на входах в камеры составляли от 18,5 до 23.

Сливные камеры гидроциклонов имеют длину от 2 до 3 м и диаметры порядка 100 мм. При таком соотношении длин и диаметров выходящий из гидроциклона поток НСВ быстро теряет свою кинетическую энергию вращательного движения, и в конце камеры коалесценция капель нефти происходит недостаточно интенсивно, что сказывается на эффективности последующего процесса отстаивания обрабатываемой НСВ. Кроме того, неравномерное разделение потока НСВ на две части в гидроциклоне приводит к различной степени обработки воды в верхней и нижней сливных камерах, что также влияет на седиментационные свойства скоалесцированных капель нефти.

Для устранения недостатков блока гидроциклон – камеры сливов авторами для обработки НСВ была разработана конструкция вихревого коалесцирующего устройства (ВКУ), схема которого показана на рис. 2.

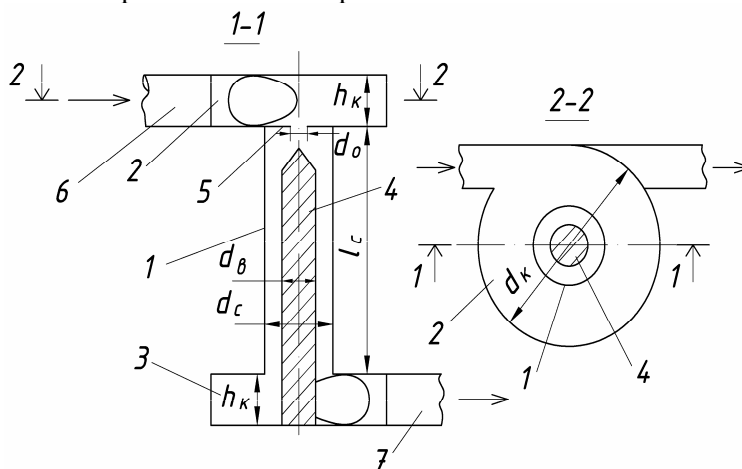


Рис. 2. Схема вихревого коалесцирующего устройства (ВКУ):
1 – ствол; 2, 3 – входная и выходная камеры; 4 – цилиндрикоконическая вставка; 5 – диафрагма;
6, 7 – патрубки

Вихревое коалесцирующее устройство представляет собой соосно соединенные с трубчатым стволом 1 цилиндрические входную и выходную камеры 2 и 3. Подача и отвод обрабатываемой НСВ осуществляется с помощью патрубков 5 и 6, тангенциально присоединённых к камерам 2 и 3. С целью создания высоких значений коэффициента закрутки между входной камерой 2 и стволом 1 установлена сменная диафрагма 5 с изменяющимся внутренним диаметром d_0 . Для предотвращения создания внутреннего обратного восходящего потока НСВ с низкой энергией вращательного движения внутри ствола 1 соосно с ним установлена цилиндрикоконическая вставка 4. За счёт создания кольцевого щелевого зазора между стволом 1 и вставкой 4 появляются дополнительные касательные напряжения, ускоряющие разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти в потоке НСВ.

Последовательное соединение ВКС в трёхступенчатую установку позволяет на большей части длины ствола каждого ВКУ поддерживать высокие значения коэффициентов закрутки, и, следовательно, эффективно осуществлять процесс коалесценции нефтяных примесей.

Исследования процесса гидродинамической обработки НСВ в вихревых коалесцирующих устройствах и последующей очистки воды от нефти путём отстаивания производились на экспериментальной установке, схема которой показана на рис. 3.

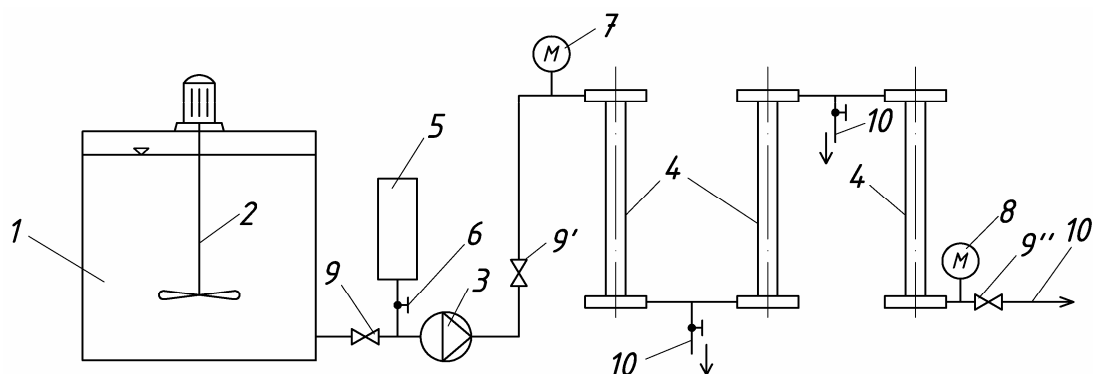


Рис. 3. Схема экспериментальной установки:

1 – бак исходной воды; 2 – механическая мешалка; 3 – насос; 4 – ВКУ; 5 – дозирующее устройство; 6 – вентиль; 7, 8 – манометры; 9, 9', 9'' – запорная арматура; 10 – отбор проб

В бак 1 заливалась исходная водопроводная вода, после чего туда добавлялась тонкодисперсная глина в количестве, необходимом для поддержания концентрации взвешенных веществ (механических примесей) в пределах 150-160 мг/л. Для поддержания примесей во взвешенном состоянии бак 1 был оборудован механической мешалкой 2. При включении насоса 3 в его всасывающий патрубок из бака 5 дозировалась нефть Алакаевского месторождения Самарской области. Расход дозируемой нефти регулировался вентилем 6 таким образом, чтобы весовая концентрация нефти в обрабатываемой воде составляла от 780 до 800 мг/л. Таким образом, концентрации нефти и механических примесей в обрабатываемой воде соответствовали значениям этих показателей в НСВ Алакаевского месторождения.

Загрязненная вода (НСВ) от насоса 3 под избыточным давлением 0,2-0,3 МПа подавалась на установку, состоящую из трёх последовательно соединённых между собой ВКУ 4. Величина противодавления на выходе из установки, определяемая манометром 8, с помощью задвижки 9'' фиксировалась на уровне 0,05-0,10 МПа. Производительность насоса 3 в экспериментах составляла 4,5-6 м³/ч.

Конструктивные параметры каждой из ВКУ (см. рис. 2) были следующими:

- длина ствола l_c – 1000 мм;
- диаметр ствола d_c – 100 мм;
- диаметр вставки d_b – 50 мм;
- диаметры входной и выходной камер d_k – 400 мм;
- высота каждой камеры h_k – 70 мм;

- диаметры входного и выходного патрубков – 70 мм;
- диаметры сменных диафрагм d_0 – от 25 мм до 65 мм;
- материал – нержавеющая сталь.

Исходя из предположения, что вращение потока воды во входной камере 2 и начальном участке ствола 3 после диафрагмы 5 (см. рис. 2) происходит с постоянной циркуляцией, параметр закрутки на входе в кольцевое пространство между стволом 3 и вставкой 4 ВКУ определялся по формуле

$$\Theta_B = \varphi_B \frac{v_{\text{вх}} \cdot d_k}{d_0 \cdot v_{\text{ос,с}}}, \quad (2)$$

где φ_B – коэффициент, учитывающий преобразования части энергии вихревого движения в энергию осевого движения, $\varphi_B = 0,80-0,82$; $v_{\text{вх}}$ – скорость движения воды во входном патрубке, м/с; $v_{\text{ос,с}}$ – осевая скорость движения воды в стволе ВКУ, м/с,

$$v_{\text{ос,с}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi(d_c^2 - d_B^2)}; \quad (3)$$

здесь Q – расход воды, м³/с, измеряемый объемным методом.

Время обработки воды в стволе ВКУ, с,

$$t = \frac{l_c}{v_{\text{ос,с}}}. \quad (4)$$

В каждой серии экспериментов диаметры отверстий диафрагм d_0 во всех ВКУ были одинаковыми, что при $Q = \text{const}$ предопределяло равенство значений Θ_B на входе в каждое коалесцирующее устройство. В процессе исследований значения Θ_B изменялись в пределах от 8,0 до 19,5, время обработки НСВ варьировалось от 3,6-4,8 с после первой ступени ВКУ до 10,5-14,2 с после третьей ступени ВКУ.

Пробы обрабатываемой воды в установке с ВКУ воды отбирались через патрубки 10 (см. рис. 3) и отстаивались в лабораторных цилиндрах. Продолжительность отстаивания составляла 120 мин, после чего из верхней части цилиндров производился отбор проб осветленной воды (не менее трёх для каждого режима обработки) и осуществлялся анализ остаточных концентраций взвешенных веществ и нефтепродуктов по стандартным методикам [12].

Эффект отстаивания определялся по формуле

$$\Xi = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{от}}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $C_{\text{исх}}$, $C_{\text{от}}$ – объёмные концентрации нефти или механических примесей соответственно в исходной воде и воде после отстаивания, мг/л.

Диаграммы изменения эффекта отстаивания нефтепродуктов от значений Θ_B на входе в ВКУ при различном времени обработки НСВ представлены на рис. 4-6. Анализ опытных данных показал, что при возрастании значения параметра закрутки Θ_B с 8 до 19,5 для первой ступени ВКУ эффект отстаивания увеличивается с 82 до 86 % почти в линейной зависимости от Θ_B (см. рис. 4). Аналогичный характер зависимости $\Xi = f(\Theta_B)$ прослеживается после обработки НСВ в ВКУ первой и второй ступеней при увеличении Θ_B от 8 до 14,8 (см. рис. 5). Однако при дальнейшем возрастании Θ_B эффект осветления воды от нефтепродуктов увеличивается не так значительно и составляет соответственно 88,5 % и 89 % при $\Theta_B = 14,8$ и $\Theta_B = 19,5$. После трёхступенчатой обработки НСВ в вихревых коалесцирующих устройствах эффект отстаивания остаётся почти постоянным ($\Xi = 91,1 - 91,2$ %) при увеличении Θ_B с 14,8 до 19,5 (см. рис. 6). Резкое снижение роста эффекта отстаивания при значениях $\Theta_B > 14,8$ и времени

обработки от 10,5 до 14,2 с можно объяснить тем, что крупность скоалесцированных частиц нефти становится соизмеримой с масштабом турбулентных пульсаций, что приводит к частичному разрушению нефтяных капель и стабилизации их седиментационных характеристик.

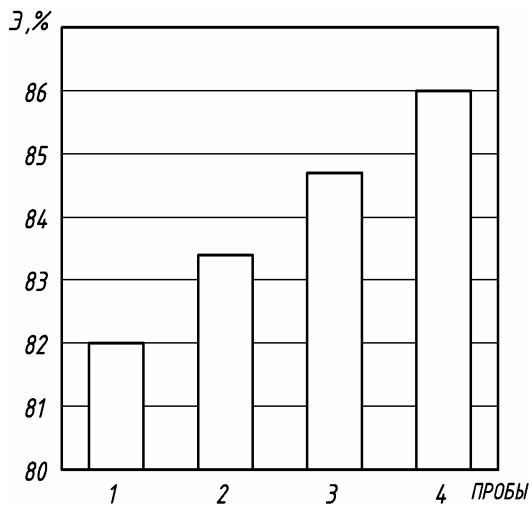


Рис. 4. Диаграммы изменения эффекта отстаивания нефтепродуктов от значений Θ_b после обработки НСВ на первой ступени ВКУ (время обработки 3,6-4,8 с):

1 – при $\Theta_b=8,0$; 2 – при $\Theta_b=11,5$;
3 – при $\Theta_b=14,8$; 4 – при $\Theta_b=19,5$

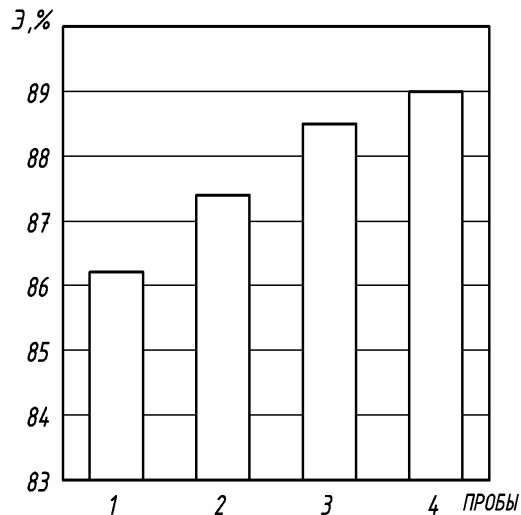


Рис. 5. Диаграммы изменения эффекта отстаивания нефтепродуктов от значений Θ_b после обработки НСВ на второй ступени ВКУ (время обработки 7,0-9,5 с):

1 – при $\Theta_b=8,0$; 2 – при $\Theta_b=11,5$;
3 – при $\Theta_b=14,8$; 4 – при $\Theta_b=19,5$

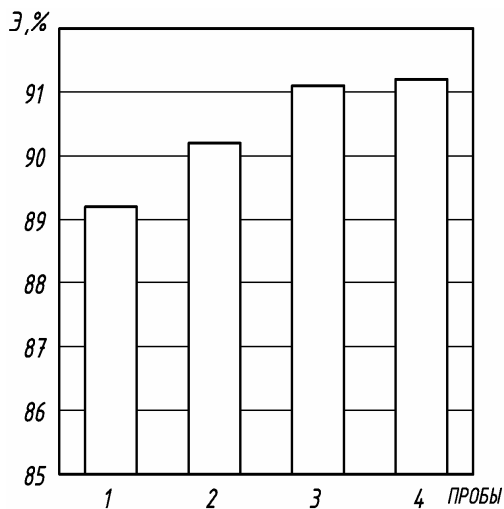


Рис. 6. Диаграммы изменения эффекта отстаивания нефтепродуктов от значений Θ_b после обработки НСВ на третьей ступени ВКУ (время обработки 10,5-14,2 с):

1 – при $\Theta_b=8,0$; 2 – при $\Theta_b=11,5$;
3 – при $\Theta_b=14,8$; 4 – при $\Theta_b=19,5$

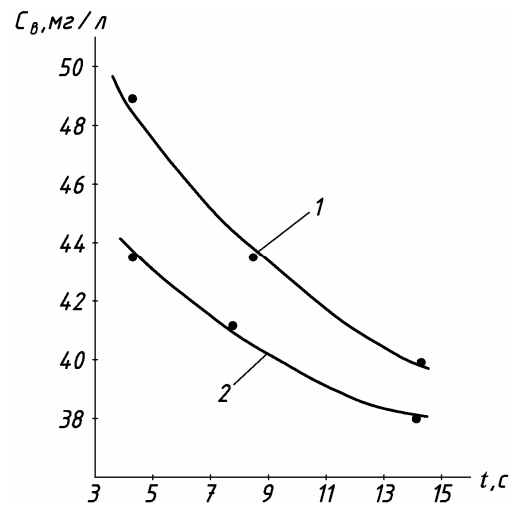


Рис. 7. Графики изменения остаточных концентраций взвешенных веществ после отстаивания от времени обработки НСВ в вихревых коалесцирующих устройствах:

1 – при $\Theta_b=8,0$; 2 – при $\Theta_b=19,5$

Что касается удаления из НСВ взвешенных веществ, то эффективность их отстаивания зависела от Θ_b и времени обработки не так значимо по сравнению с удалением нефтепродуктов. Графики изменения остаточных концентраций взвешенных веществ в осветленной НСВ в зависимости от времени обработки в ВКУ для значений $\Theta_b=8,0$ и $\Theta_b=19,5$ приведены на рис. 7. Анализ графиков показывает, что при относительно невысокой величине параметра закрутки потока на входе в ВКУ ($\Theta_b=8,0$) концентрация остаточной взвеси в отстоянной воде снижается с 49 мг/л после одной

ступени обработки до примерно 40 мг/л после трёх ступеней ВКУ. Эффект осветления при этом составлял соответственно 68 % и 74 %. При максимальном параметре закрутки ($\Theta_{\text{в}}=19,5$) увеличение времени обработки НСВ с 4,0 до 14,0 с привело к снижению концентрации взвеси после отстаивания с 43,5 до 38 мг/л (эффект осветления 72 % и 75,5 %).

Энергетические показатели работы установки с тремя ступенями ВКУ в процессе экспериментов изменялись в пределах от 0,3 до 0,4 кВт·ч на 1 м³ обрабатываемой НСВ, что в среднем на 25-27 % ниже удельного энергопотребления гидроциклона с камерами сливов такой же производительности при аналогичном эффекте очистки.

ВЫВОДЫ

1. При очистке НСВ от нефтепродуктов и взвешенных веществ в качестве эффективных аппаратов для их предварительной обработки могут использоваться трубчатые вихревые коалесцирующие устройства с центральными цилиндрическими вставками, позволяющие осуществлять интенсивное разрушение бронирующих оболочек на нефтяных каплях.

2. Экспериментально установлено, что для обеспечения высокой степени очистки НСВ от капель нефти и механических примесей путём отстаивания предварительную обработку НСВ в центробежном поле целесообразно осуществлять на установках, состоящих из нескольких последовательно соединенных между собой вихревых коалесцирующих устройств.

3. Оптимальное время обработки НСВ на установке, состоящей из трёх ступеней ВКУ, составляет 10,5-14,2 с при поддержании значений параметра закрутки на входе в каждое ВКУ в пределах 14,8-19,5. Удельные затраты электроэнергии на предварительную обработку НСВ в установке с ВКУ, обеспечивающие эффект последующего отстаивания по нефтепродуктам и взвешенным веществам соответственно на уровне 91 % и 74 %, составляют 0,3-0,4 кВт·ч/м³, что на 25-27 % ниже удельных затрат при обработке НСВ в гидроциклоне со сливными камерами.

Список литературы

1. Мингазимов, Н.С. Совершенствование технологии подготовки промышленных сточных вод, используемых для заводнения нефтяных месторождений: дис. ... канд. техн. наук / Н.С. Мингазимов. – Уфа, 1983. – 166 с.
2. Тронов, А.В. Научное обоснование и создание комплекса технологий очистки нефтепромысловых вод для повышения эффективности разработки нефтяных месторождений: дис. ... д-ра техн. наук / А.В. Тронов. – Бугульма, 2001. – 320 с.
3. Баширова, Н.М. Трехпродуктовые гидроциклоны для интенсификации процесса очистки нефтепромысловых сточных вод / Н.М. Баширова, Р.Р. Ахсанов, В.Г. Пономарев // Машины и нефтяное оборудование: обзор. информ. – М.: ВНИИОЭНГ, 1985. – 56 с.
4. Бусарев, А.В. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод с применением гидроциклонов с противодавлением на сливах: дис. ... канд. техн. наук / А.В. Бусарев. – СПб., 1997. – 244 с.
5. Адельшин, А.А. Моделирование процессов и разработка установок очистки нефтесодержащих сточных вод на основе использования закрученных потоков: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Адельшин. – Пенза, 2009. – 23 с.
6. Розенцвайг, А.К. Исследование коалесценции крупнодисперсных концентрированных эмульсий при турбулентном перемешивании / А.К. Розенцвайг // ИФЖ. – 1982. – Т.42. – С. 27–33.
7. Розенцвайг, А.К. Коалесценция концентрированных мелкодисперсных эмульсий при турбулентном перемешивании / А.К. Розенцвайг, Л.П. Пергушев // ИФЖ. – 1981. – Т.40, №6. – С. 1013–1018.

8. Основные закономерности процессов обработки нефтесодержащих сточных вод в коалесцирующих аппаратах циклонного типа / А.Б. Адельшин [и др.] // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2014. – №3–4 (25–26). – С. 76–81.

9. Теоретические исследования процесса обработки нефтесодержащих сточных вод в трубчатых сливных камерах гидроциклонов / А.А. Адельшин, А.Б. Адельшин, Б.М. Гришин, А.М. Кошечев // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – №2 (24). – С. 193–198.

10. Очистка сточных вод нефтепромыслов с применением высокопроизводительных блочно-модульных установок: монография / А.А. Адельшин [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 160 с.

11. Очистка непромысловых сточных вод с использованием центробежных аппаратов / А.Б. Адельшин, А.А. Адельшин, Б.М. Гришин, М.В. Бикунова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – №2. – С. 29–35.

12. Новиков, Ю.В. Методы исследования качества воды водоёмов / Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкина, З.Н. Болдина. – М.: Медицина, 1990. – 400 с.

References

1. Mingazimov, N.S. Perfection of technology oil field waste water treatment for flooding of oil deposits: diss. ... bach. techn. science/ N.S. Mingazimov. – Ufa, 1983. – 166 p.

2. Tronov, A.V. Science basis and creation of oil field waste water purification technologies complex for efficiency of oil deposits working out rise: diss. ... doct. techn. science / A.V. Tronov. – Bugulma, 2001. – 320 p.

3. Bashirova, N.M. Three-product hydrocyclones for oil field waste water purification process intensivity / N.M. Bashirova, R.R. Ahsanov, V.G. Ponomarev// Machines and oil equipment: survey inform. – М.: USIIEEOG, 1985. – 56 p.

4. Busarev, A.V. Intensivity of oil contained waste water purification with application of hydrocyclones with counter pressure in drains: diss. ... bach. techn. science / A.V. Busarev. – SPb., 1997. – 244 p.

5. Adelshin, A.A. Simulation of processes and working out of oil contained waste water purification devices on basis vortex streams use: autoabst. diss. ... bach. techn. science / A.A. Adelshin. – Penza, 2009. – 23 p.

6. Rozentsvaig, A.K. Investigation of large dispersive concentrate emulsions coalescence under turbulent agitation / A.K. Rozentsvaig // EPJ. – 1982. – V.42. – P.27–33.

7. Rozentsvaig, A.K. Coalescence of concentrate small dispersive emulsions under turbulent agitation / A.K. Rozentsvaig, L.P. Pergushev // EPJ. – 1981. – V.40, №6. – P.1013–1018.

8. Basic conformities of oil contained waste water treatment processes in cyclone coalescence devices / A.B. Adelshin [etc.] // New university. Series: Technical science. – 2014. – № 3–4 (25–26). – P. 76–81.

9. Theoretical investigations of oil contained waste water treatment process in pipe drain chambers of hydrocyclones / A.A. Adelshin, A.B. Adelshin, B.M. Grishin, A.M. Koscheev // News of Kazan state architecture and construction. – 2013. – №2(24). – P. 193–198.

10. Oil field waste water purification with use high productivity block-module plants: monograph / A.A. Adelshin [etc.]. – Penza: PSUAC, 2015. – 160 p.

11. Oil field waste water purification with use centrifugal devices / A.A. Adelshin, A.B. Adelshin, B.M. Grishin, M.V. Bikunova // Water supply and sanitary engineering. – 2015. – №2. – P. 29–35.

12. Novikov, U.V. Methods of basin water quality investigations / U.V. Novikov, K.O. Lastochkina, Z.N. Boldina. – М.: Medicina, 1990. – 400 p.

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

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

Прошутинский Андрей Олегович,
аспирант
E-mail: andrey-inf2@yandex.ru

*Saint-Petersburg State University of
Architecture and Civil Engineering*

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

Proshutinsky Andrey Olegovich,
Postgraduate student
E-mail: andrey-inf2@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА НА ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

А.О. Прошутинский

Рассматривается зависимость коэффициента полезного действия газового оборудования жилых зданий от давления газа, подводимого к горелочным устройствам. Приводятся данные о влиянии давления газа перед приборами на величину концентрации оксида углерода и оксидов азота.

Ключевые слова: жилые дома, газовый прибор, энергоэкологические показатели, газоснабжение, потери давления

INFLUENCE OF GAS PRESSURE ON ENERGY AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF GAS EQUIPMENT OF RESIDENTIAL BUILDINGS

A.O. Proshutinsky

The dependence of efficiency coefficient of gas equipment of residential buildings from the pressure of gas supplied to gas burner devices is shown.

Keywords: houses, gas appliance, energy and environmental indicators, gas supply, gas pressure loss

Природный газ занимает важнейшее место в топливно-энергетическом балансе Санкт-Петербурга, потребление газа в текущем году – 12,0 млрд м³. При этом объем потребления газа населением составляет более 600 млн м³, в городе 1 231452 квартиры газифицированы природным газом (62 % от общего количества).

В современных условиях, характеризующихся перегрузкой существующих разветвленных сетей низкого давления, давление газа перед приборами может существенно изменяться не только сезонно, но и в течение суток, что объясняется режимом работы городских сетей. Соответственно газовое оборудование жилых зданий периодически эксплуатируется в нештатных режимах, что приводит к нарушению требований безопасности работы газогорелочных устройств (отрыв и проскок пламени), а также к увеличению расхода газа, что объясняется существенным снижением коэффициента полезного действия приборов. Кроме того, система автоматики безопасности современных бытовых котлов настроена на узкий диапазон допустимых колебаний входного давления газа, что приводит к частым отключениям аппаратов с последующим риском выхода из строя всей системы отопления.

Инжекционные газовые горелки довольно чувствительны к изменению давления газа. При чрезмерном повышении давления газа происходит начальный момент отрыва пламени от огневого отверстия, высота пламени при этом увеличивается, что

приводит к соприкосновению пламени с холодной поверхностью посуды, в результате чего появляются опасные для жизни человека продукты неполного сгорания, такие, как формальдегид, бензапирен, бензол, оксид углерода (СО), оксиды азота (NO_x). Наиболее токсичным является СО, допустимая концентрация (ПДК) которого в жилых зданиях составляет 2 мг/м³. По данным, приведенным в [2], содержание СО в воздухе кухонь типовых газифицированных квартир превышает ПДК в 10-50 раз, достигая значения 100 мг/м³.

Результаты исследований показывают, что концентрация вредных веществ может увеличиваться с повышением давления газа перед горелкой. В диапазоне подводимого давления к плите от 600 до 3000 Па концентрации вредных веществ в воздухе помещения кухни возрастают: по СО – в 2,5–3 раза, по NO_x – на 30 %. Это объясняется тем, что с ростом расхода газа увеличивается объем пламени и, следовательно, увеличивается охлаждающее действие теплоприемника, что ухудшает условия для окисления окиси углерода до диоксида. Концентрация оксидов азота также повышается, так как с увеличением давления газа возрастает температура в зоне горения. Минимальные концентрации СО и NO_x наблюдаются при номинальном давлении ($P_{\text{ном}}$) природного газа перед приборами. Данные режимы работы приборов свидетельствуют о несоответствии подводимого давления газа и мощности газогорелочных устройств по коэффициенту предельного регулирования. В настоящее время в нормативно-технической литературе не приводятся значения коэффициентов предельного и рабочего регулирования для инжекционных горелок бытовых газовых приборов.

Согласно [1] колебание давления перед бытовыми газовыми приборами допускается в пределах $0,1P_{\text{ном}}-0,15P_{\text{ном}}$, но в условиях реальной эксплуатации отклонения могут быть превышены в несколько раз.

Максимальный КПД бытовых газовых приборов и наибольшая полнота сжигания газа достигаются при постоянном номинальном давлении для данной модели прибора. Конструктивно различают приборы, рассчитанные на эксплуатацию при номинальном давлении 1300 Па и 2000 Па.

Постоянство соответствующего прибору давления необходимо также для обеспечения наибольшего срока службы приборов, так как при повышении давления газа сверх номинального в отдельных конструктивных элементах приборов, особенно у газовых водонагревателей и двухконтурных теплогенераторов, возникают опасные тепловые напряжения, что приводит к прогоранию теплообменных поверхностей.

Был произведен анализ зависимости величины коэффициента полезного действия горелочных устройств бытовых газовых приборов от величины давления газа, поступающего в горелку, методом корреляционного анализа. Для анализа были взяты результаты экспериментальных исследований из открытых источников [3,4].

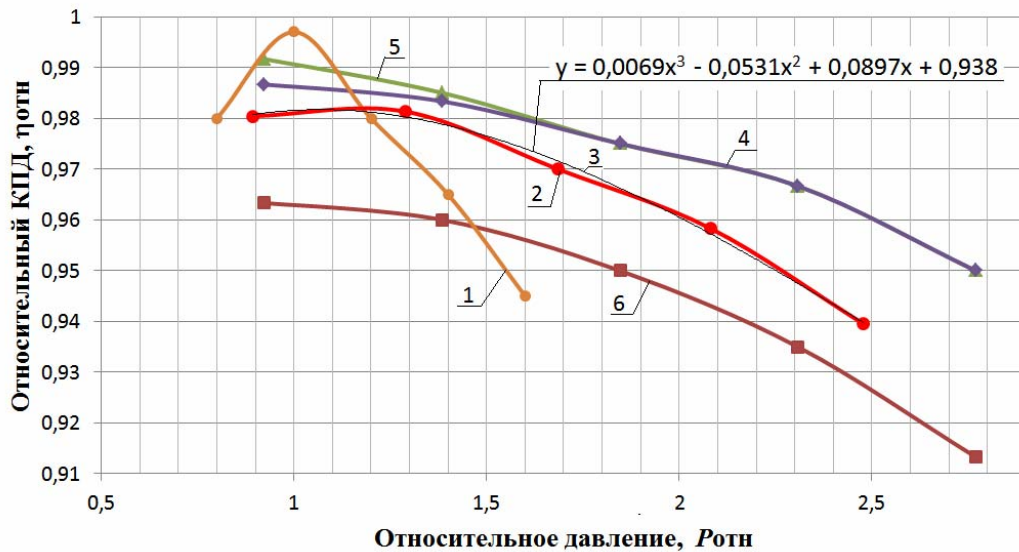
Для упрощения обработки данных по различным типам приборов (плита, водонагреватель, котел) с существенно различающимися абсолютными значениями КПД и номинального давления газа, а также для возможности получения обобщенной зависимости $\eta=f(P)$ для всех типов приборов были приняты относительные значения $\eta_{\text{отн}}$ и $P_{\text{отн}}$.

$$\eta_{\text{отн}} = \eta_i / \eta_{\text{ном}},$$

$$P_{\text{отн}} = P_i / P_{\text{ном}},$$

где η_i , P_i – промежуточные значения КПД и давления газа перед прибором; $\eta_{\text{ном}}$, $P_{\text{ном}}$ – номинальные значения КПД и давления газа перед прибором.

В результате исследований был получен уточненный график, который обобщает данную зависимость для различных типов бытового газоиспользующего оборудования: газовых плит, газовых проточных водонагревателей и бытовых котлов (см. рисунок). Корреляционный анализ зависимостей показал наличие сильной связи между исследуемой функцией $\eta_{\text{отн}}$ и параметром $P_{\text{отн}}$, коэффициенты корреляции во всех приведенных случаях близки по модулю к 1. Зависимости с коэффициентами корреляции менее 0,5 не учитывались.



Зависимость относительного КПД от относительного давления газа перед газовыми приборами:

- 1 – аппроксимирующий график для теплогенератора, водонагревателя и плиты [4];
- 2 – полученный график аппроксимации; 3 – полученная полиномиальная зависимость;
- 4, 5 – зависимости серийных горелок для плит с различным расстоянием до дна посуды [3];
- 6 – зависимость для унифицированной горелки плиты [3]

Снижение КПД горелки при уменьшении давления газа ниже номинального объясняется уменьшением объема факела и снижением интенсивности теплообмена, а также увеличением коэффициента избытка воздуха и потерь в окружающую среду. Снижение КПД горелки при увеличении давления газа выше номинального происходит за счет увеличения потерь тепла с отходящими продуктами сгорания, не успевающими отдать тепло поверхностям теплообмена. Наивысшее значение КПД достигается при давлении газа, равном номинальному, т.е. при $P_i/P_{ном}=1$.

Полученная аппроксимирующая зависимость имеет полиномиальный характер с коэффициентом корреляции 0,95:

$$\eta_{отн} = 0,0069 \cdot P_{отн}^3 - 0,0531 \cdot P_{отн}^2 + 0,0897 \cdot P_{отн} + 0,938$$

Задавая значениями $\eta_{ном}$ и $P_{ном}$, можно определить зависимость $\eta=f(P)$ в абсолютных величинах для всех перечисленных выше типов бытовых газовых приборов, оборудованных инжекционными горелочными устройствами. Согласно ГОСТ Р 50696–2006 коэффициент полезного действия горелок бытовой газовой плиты должен быть не менее 52 %, для проточных водонагревателей по ГОСТ Р 51847–2009 в зависимости от нагрузки КПД должен быть не менее 82-84 %, для газовых котлов по ГОСТ Р 51733–2001 КПД в зависимости от номинальной мощности должен быть не менее 87-88 %. Полученная зависимость позволяет уточнить в дальнейшем допустимый перепад давления газа от пункта редуцирования газа до самого удаленного прибора для гидравлического расчета распределительной сети.

Длительная работа газовых приборов на пониженном давлении газа приводит к падению мощности горелочных устройств. Результаты исследований показали, что допустимая степень изменения мощности газоиспользующих приборов определяется паспортными данными газогорелочных устройств, т.е. коэффициентом предельного регулирования $K_{п.р.}$ по тепловой мощности (диапазон устойчивой работы горелки). Этот параметр определяет, в каких пределах может изменяться давление газа перед горелкой при устойчивой и безопасной ее работе.

$$K_{п.р.} = N_{max}/N_{min},$$

где N_{max} , N_{min} – максимальное и минимальное значения мощности прибора, кВт.

Отклонение от номинальной мощности можно определить по формулам:

$$N_{\max} = N_{\text{ном}} \sqrt{P_{\max} / P_{\text{ном}}},$$

$$N_{\min} = N_{\text{ном}} \sqrt{P_{\min} / P_{\text{ном}}},$$

где $N_{\text{ном}}$ – номинальное значение мощности прибора, кВт; P_{\max} , P_{\min} , $P_{\text{ном}}$ – максимально возможное, номинальное и минимально возможное давление газа перед прибором.

По данным, приведенным в действующих ГОСТ Р 51847–2009 и ГОСТ Р 50696–2006, современное автоматизированное газовое оборудование (плиты и теплогенераторы) должно соответствовать следующим значениям требуемого давления перед горелочными устройствами:

при $P_{\text{ном}} = 2000$ Па: $P_{\max} = 2500$ Па и $P_{\min} = 1700$ Па (для плит и теплогенераторов);

при $P_{\text{ном}} = 1300$ Па: $P_{\max} = 1800$ Па и $P_{\min} = 650$ Па (для плит).

Следовательно,

$$K_{\text{п.р.}} = \sqrt{P_{\max} / P_{\min}} \sqrt{(P_{\max} / P_{\min})}$$

при $P_{\text{ном}} = 2000$ Па: $K_{\text{п.р.}} = 1,21$;

при $P_{\text{ном}} = 1300$ Па: $K_{\text{п.р.}} = 1,66$.

Выводы

1. Диапазон регулирования у газогорелочных устройств с номинальным давлением 1,3 кПа на 37% больше, чем у горелок с номинальным давлением 2,0 кПа. Следовательно, при расчете сложной сети, имеющей потребителей с различными значениями $K_{\text{п.р.}}$, необходимо принимать параметры диктующего прибора, расположенного в конце расчетного направления и имеющего минимальное значение $K_{\text{п.р.}}$. В связи с этим рекомендуется использовать внутри рассматриваемой сети низкого давления приборы с одноступенчатыми горелками с $P_{\text{ном}} = 2000$ Па при установке плит и теплогенераторов либо с $P_{\text{ном}} = 1300$ Па – при установке газовых плит.

2. Горелки бытового газового оборудования должны характеризоваться коэффициентами предельного и рабочего регулирования для обеспечения номинального значения КПД и безопасной работы приборов.

3. Определение величины допустимого перепада давления, обеспечивающего максимальное значение КПД газоиспользующих приборов, должно опираться на результаты исследований зависимости изменения их КПД от давления газа перед горелками или от их тепловой мощности.

Список литературы

1. Кязимов, К.Г. Справочник работника газового хозяйства / К.Г. Кязимов. – М.: Высшая школа, 2006. – 140 с.
2. Быков, Г.А. Экология микроклимата жилых помещений / Г.А. Быков, Н.М. Мхитрян // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – №2. – С.42–48.
3. Пелипенко, В.Н. Горелки бытовых газовых плит / В.Н. Пелипенко. – Тольятти: ТГУ, 2004. – 138 с.
4. Иванов, А.А. Моделирование и обоснование рациональных поселковых систем газоснабжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Иванов. – Воронеж: ВГАСУ, 2011. – 18 с.

References

1. Kazimov, K.G. Handbook of gas industry worker sector / K. G. Kazimov. – M.: Higher school, 2006. – 140 p.
2. Bykov, G.A. Ecology of microclimate of residential buildings / G.A. Bykov, N.M. Hitran // EcoTechnologies and resource saving. – 2001. – №2. – P.42–48.
3. Pelipenko, V.N. Burners of gas stoves / V.N. Pelipenko. – Togliatti: Tomsk state University, 2004. – 138 p.
4. Ivanov, A.A. Modeling and validation of rational settlement of gas supply systems: author. dis. ... cand. tech. Sciences/ A. A. Ivanov. – Voronezh: VGASU, 2011. – 18 p.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

УДК 624.03

Ростовский государственный строительный университет

Россия, 344022, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162,
тел.: (863)2019136,

Маяцкая Ирина Александровна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Соппротивление материалов»
E-mail: irina.mayatskaya@mail.ru

Демченко Борис Михайлович,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Соппротивление материалов»

Швецов Павел Александрович,
аспирант кафедры «Соппротивление
материалов», главный конструктор ООО
«Оригами»

Rostov State University of Civil Engineering

Russia, 344022, Rostov-on-Don,
162, Sotsialisticheskaya St.,
tel.: (863)2019136

Mayatskaya Irina Aleksandrovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Strength of Materials»
E-mail: irina.mayatskaya@mail.ru

Demchenko Boris Michailovich,
Candidate of Engineering Sciences, Professor
of the department «Strengsh of materials»

Shvetsov Pavel Aleksandrovich,
Postgraduate student of the department
«Strength of Materials»,
chief designer Ltd «Origami»

О ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СЕТЧАТЫХ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ БИОНИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ

И.А. Маяцкая, Б.М. Демченко, П.А. Швецов

Дан обзор уникальных сооружений, в строительстве которых использованы сетчатые пластины и оболочки. Рассматриваются вопросы совершенствования сетчатых конструкций методами архитектурной бионики, что дает возможность применять в сооружениях и их элементах принципы организации, свойства, функции и структуры живой природы.

Ключевые слова: модель, объект, конструкция, форма, сооружение, оболочка, пластина

POSSIBILITY OF IMPROVING MESH PLATES AND SHELLS IN VIEW OF PRINCIPLES OF BIONIC

I.A. Mayatskaya, B.M. Demchenko, P.A. Shvetsov

Review unique structures using a mesh of plates and shells is given. Improvement of mesh constructions by methods of architectural bionics which makes possible to use principles of organization, properties, functions and structures of wildlife in structures and their elements.

Keywords: model, object, design, shape, structure, shell, plate

Сетчатые оболочки и пластины широко используются в строительстве как в качестве несущих конструкций, так и в покрытиях сооружений [1–3]. Они применяются не только как самостоятельные элементы конструкций, но и в комбинации с пластинами и оболочками в качестве подкрепляющих ребер. Одна из конструкций представлена на рис. 1.

Эффективность использования подобных конструкций определяется снижением расхода материала и повышением жесткости на заданных участках или в заданных направлениях. И не надо забывать об эстетической составляющей таких конструкций!

Сетчатые пластины и оболочки используются также в качестве несущего каркаса (матриц) в конструкциях из композиционных материалов, в частности полимерных.

Исследования по расчету сетчатых конструкций ведутся по двум направлениям. Первое основано на использовании дискретной расчетной модели, где могут применяться методы точного расчета стержневых конструкций. Но с увеличением количества узлов и стержней возникают трудности численной реализации. В настоящее время развиваются приближенные методы расчета сетчатых пластин и оболочек и, в частности, методы супердискретизации, к которым относятся методы обобщенных неизвестных и метод дискретных конечных элементов.

Второе направление, разработанное Г.И. Пшеничным и его учениками, основано на замене дискретной системы эквивалентной континуальной расчетной моделью. Точность решения зависит от густоты сетки, характера воздействия. Эти направления успешно развиваются и дополняют друг друга.

Сетчатые оболочки и пластины являются очень распространенными несущими строительными конструкциями, причем в настоящее время многие известные архитекторы используют их в своих проектах [4–7]. Работа самой известной женщины-архитектора Захи Хадид представлена на рис. 2, а. Как видно, сооружение представляет собой совокупность железобетонного здания и сетчатой оболочки (рис. 2,б).

Известный российский инженер и архитектор В.Г. Шухов использовал сетчатые гиперboloидные оболочки с ромбовидной несущей решеткой. Хорошо известна Шуховская телебашня на Шаболовке. Она состоит из шести отдельных секций-гиперboloидов и сужается кверху по плавной кривой. Каждая секция была собрана из прямых металлических стержней, концы которых крепились к кольцевым основаниям секции.

Сетчатые оболочки для перекрытий применил В.Г. Шухов в здании ГУМа в Москве. Он использовал металлические конструкции в форме сферической (рис. 3,а) и цилиндрической (рис. 3,б) оболочек. Они очень украшают это здание и кажутся легкими и очень изящными.

В государственном музее изобразительных искусств имени А.С. Пушкина В.Г. Шухов также для перекрытий использовал сетчатые конструкции, которые очень прочны и пропускают естественный свет. На рис. 4 представлены перекрытия самой разнообразной формы.

В настоящее время сетчатые оболочки стали одним из основных элементов уникальных зданий во всем мире. Например, сетчатая башня-оболочка в порту Кобе, Япония (рис. 5) или телебашня Гуанчжоу (рис. 6). Эта конструкция является совместной работой двух слоев: сетчатая оболочка для внешнего слоя выполнена из прямых стальных труб большого диаметра и имеет форму гиперboloида, а для внутреннего – из труб меньшего диаметра с ромбовидной решеткой.

Многие архитекторы используют конструкции с криволинейными очертаниями, в которых применяют покрытия на основе сетчатых оболочек. Так, в 1976 году было построено сооружение по проекту Хьюго Херинга и Фрая Отто, в котором использовались такие оболочки. Это сооружение напоминает гигантского моллюска.

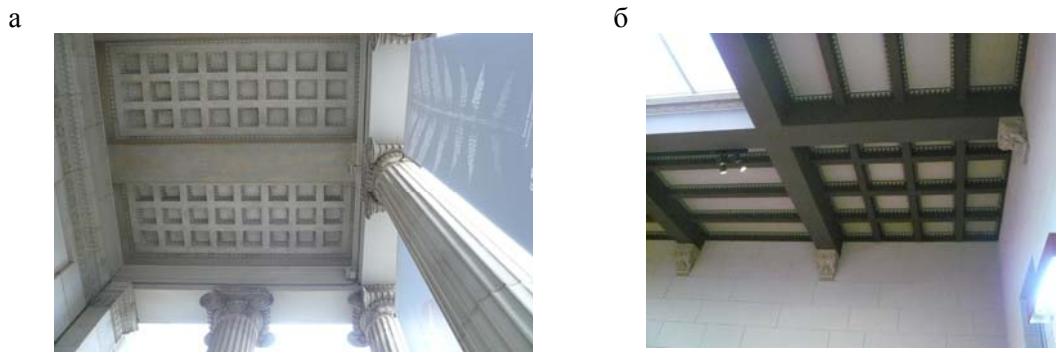


Рис. 1. Ребристые конструкции в ГМИИ имени А.С. Пушкина в Москве:
а – у входа в здание; б – внутри здания

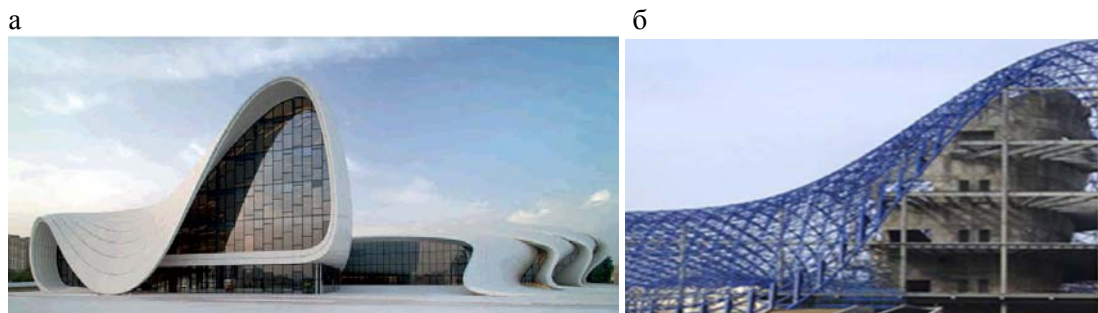


Рис. 2. Культурный центр имени Гейдара Алиева в Баку, Азербайджан:
а – сооружение; б – во время строительства

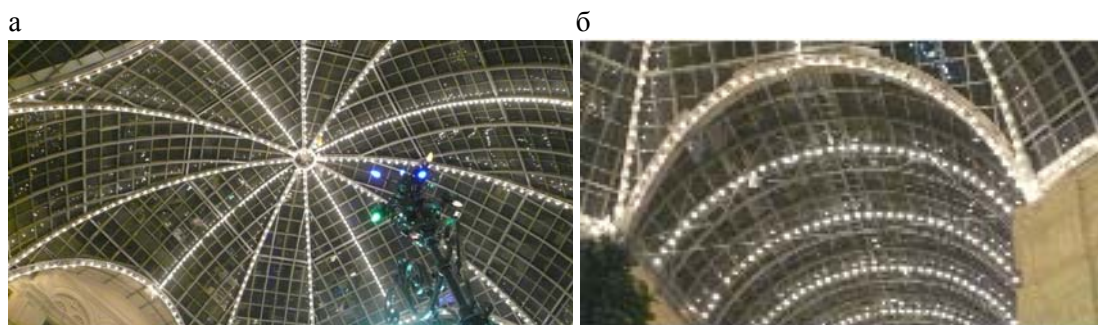


Рис. 3. Здание ГУМа в Москве:
а – купол; б – пролет

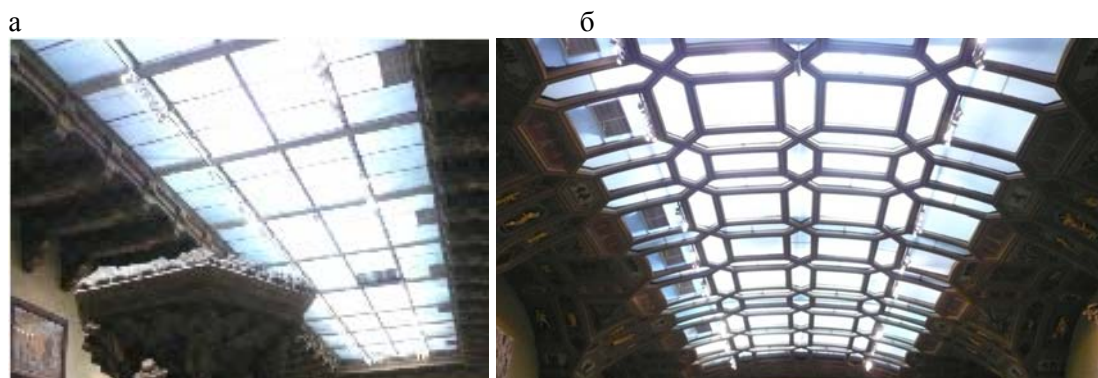


Рис. 4. Перекрытие ГМИИ имени А.С. Пушкина в Москве в виде:
а – прямоугольных элементов; б – гексагональных элементов



Рис. 5. Башня в порту Кобе



Рис. 6. Телебашня Гуанчжоу

Здание факультета права в Кембридже по проекту Норманна Фостера представляет собой тоже сетчатую оболочку из треугольных элементов. Стоит отметить, что раньше ячейки сетчатых оболочек были изготовлены из стекла, а в настоящее время применяют и полимерные материалы. Сетчатая сферическая оболочка использовалась и при проектировании Монреальской Биосферы (архитектор Ригард Фуллер). Эта оболочка составлена из гексагональных блоков с треугольными элементами. Гексагональная сетчатая оболочка применялась и в сооружении «Климатрон» на территории ботанического сада Миссури в городе Сент-Луис, США. А Национальный центр исполнительских искусств в Пекине имеет форму эллипсоидного купола в виде оболочки с прямоугольной сеткой. Сетчатые оболочки использовались и при проектировании олимпийских объектов в городе Сочи (рис. 7).

а



б



Рис. 7. Олимпийские сооружения в г. Сочи:
а – ледовый дворец «Большой»; б – стадион «Фишт»

Многие архитекторы используют природные формы различных объектов при проектировании своих зданий [8]. Если рассмотреть листовые пластинки, то можно заметить, что они имеют очень разнообразную сетку (рис. 8). Так, в сетчатых оболочках используют в основном симметричные формы.

Рассмотрим, как влияет симметричное и косимметричное расположение стержней сетчатой пластины. На рис. 9 показаны варианты расположения стержней. Принятые исходные данные: $q=1$ Кн; $L=1$ м. Геометрические характеристики стержней приведены в табл. 1. Расчет конструкции проводился при помощи комплекса ЛИРА. Углы пластины жестко закреплены, приложена равномерно распределенная нагрузка, нужно найти прогиб пластины и сравнить значения прогибов в узлах для квадратной пластины.

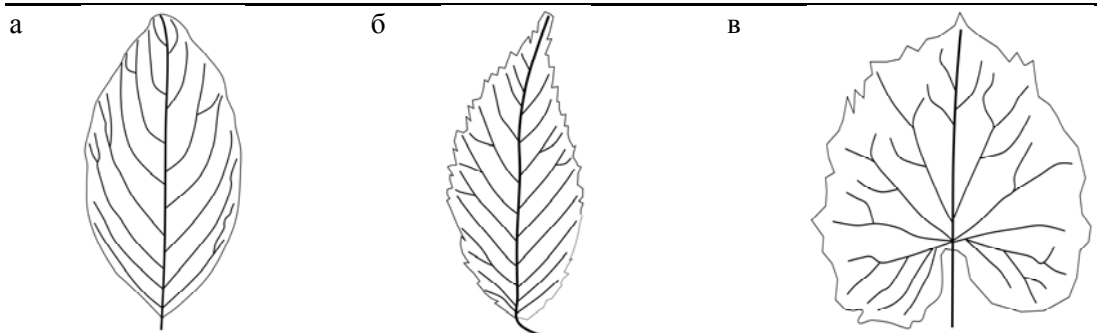


Рис. 8. Форма листа:
а – несимметричное ветвление; б – симметричное ветвление; в – сложное ветвление

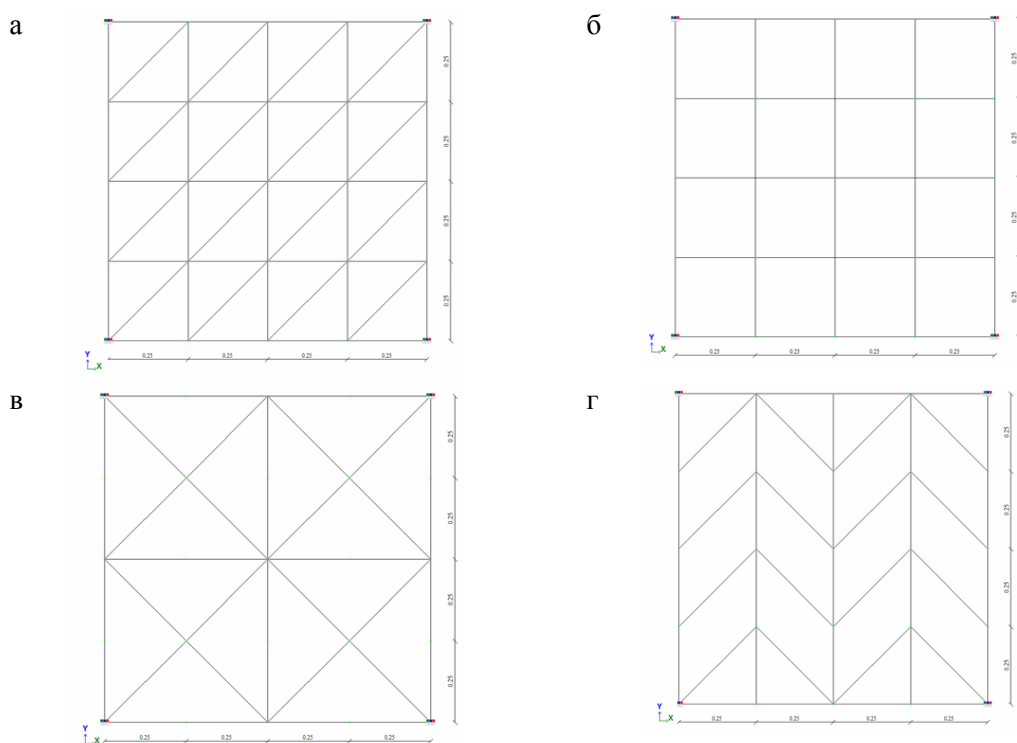


Рис. 8. Варианты сетчатой пластины:
а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; г – вариант 4

Т а б л и ц а 1

Геометрические характеристики стержней

Тип жесткости	Имя	Параметры
1	Профиль "Молодечно" 40 x 2	$q=2.26534e-005$
		$EI_x=60.564, EI_y=0.0143$
		$EI_z=0.0143, GI_k=0.00856$
		$Y1=1.18, Y2=1.18, Z1=1.18, Z2=1.18, RU_Y=0, RU_Z=0$

Для каждого варианта разбита сетка и найдены прогибы в узлах. Данные представлены на рис. 9–12, в табл. 2 и 3.

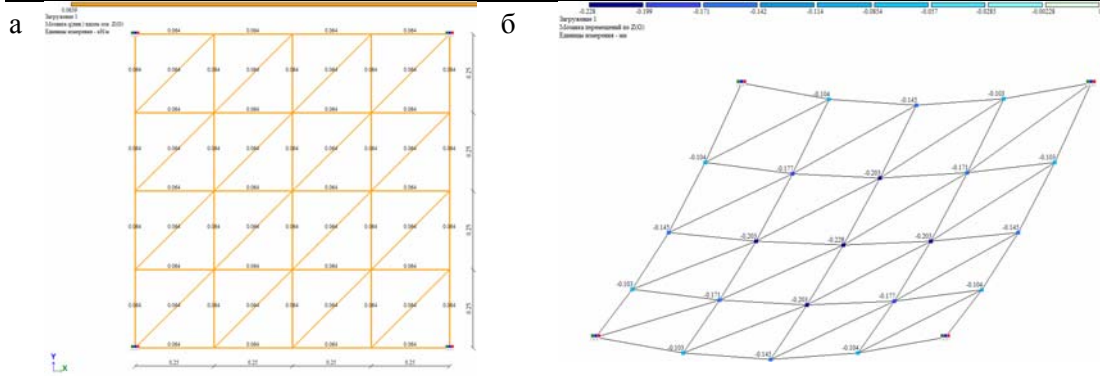


Рис. 9. Вариант 1:

а – мозаика нагружения вдоль оси z ; б – мозаика перемещений вдоль оси z

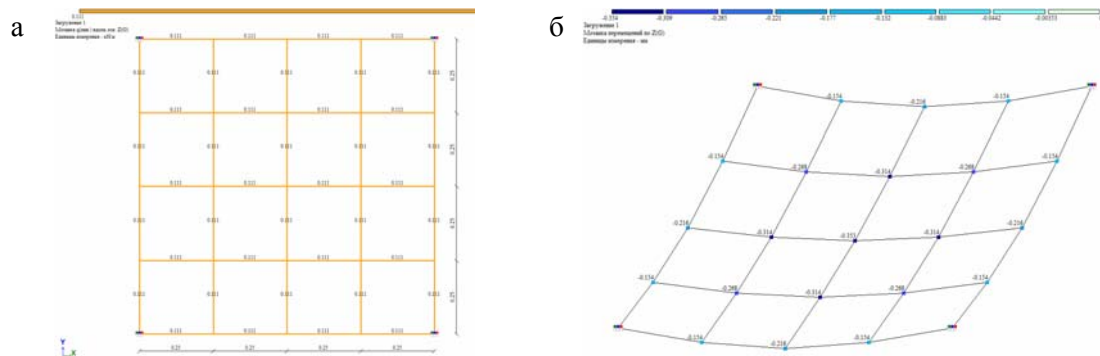


Рис. 10. Вариант 2:

а – мозаика нагружения вдоль оси z ; б – мозаика перемещений вдоль оси z

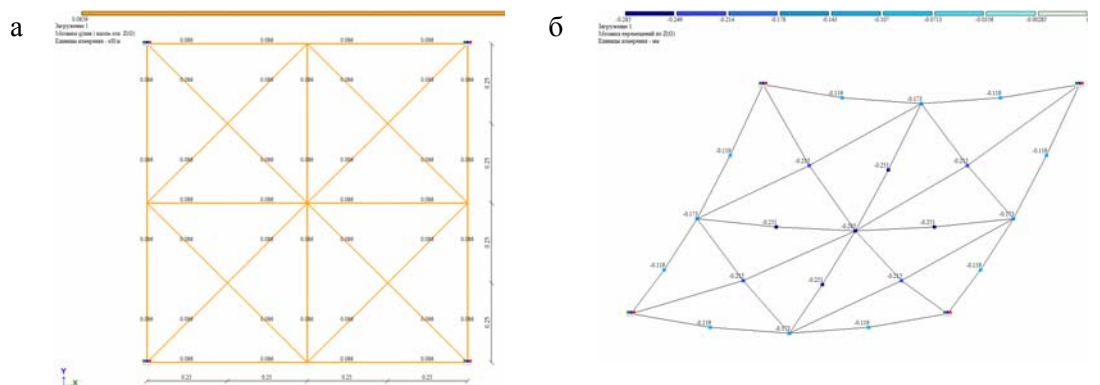


Рис. 11. Вариант 3:

а – мозаика нагружения вдоль оси z ; б – мозаика перемещений вдоль оси z

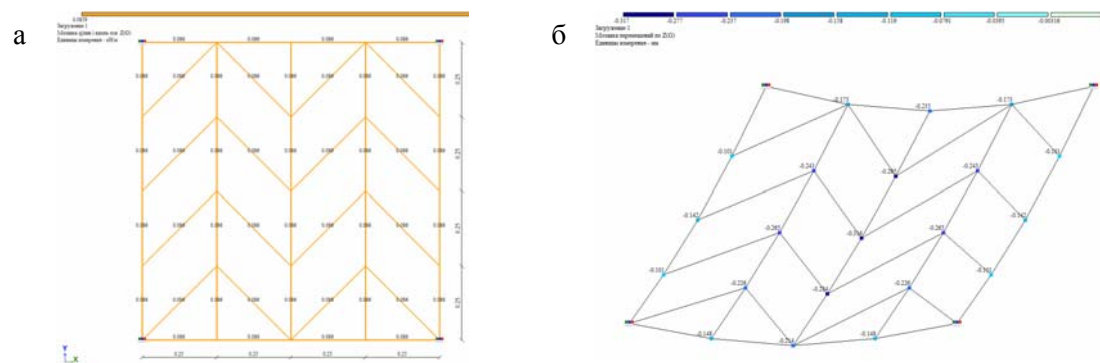


Рис. 12. Вариант 4:

а – мозаика нагружения вдоль оси z ; б – мозаика перемещений вдоль оси z

Т а б л и ц а 2

Параметр	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Нагрузка на каждый стержень, q , кН/м	0,064	0,111	0,086	0,086

Т а б л и ц а 3

№ узла	Вариант				№ узла	Вариант			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	0	0	0	0	14	-0,203	-0,314	-0,251	-0,284
2	-0,104	-0,154	-0,119	-0,101	15	-0,145	-0,216	-0,173	-0,214
3	-0,145	-0,216	-0,173	-0,142	16	-0,103	-0,154	-0,119	-0,173
4	-0,103	-0,154	-0,119	-0,101	17	-0,171	-0,268	-0,215	-0,243
5	0	0	0	0	18	-0,203	-0,314	-0,251	-0,265
6	-0,104	-0,154	-0,119	-0,173	19	-0,177	-0,268	-0,215	-0,226
7	-0,177	-0,268	-0,215	-0,243	20	-0,104	-0,154	-0,119	-0,148
8	-0,203	-0,314	-0,251	-0,265	21	0	0	0	0
9	-0,171	-0,268	-0,215	-0,226	22	-0,103	-0,154	-0,119	-0,101
10	-0,103	-0,154	-0,119	-0,148	23	-0,145	-0,216	-0,173	-0,142
11	-0,145	-0,216	-0,173	-0,135	24	-0,104	-0,154	-0,119	-0,101
12	-0,203	-0,314	-0,251	-0,295	25	0	0	0	0
13	-0,228	-0,353	-0,285	-0,316					

Если сравнить данные табл. 3, то можно сделать вывод, что лучше всего использовать сетчатую пластину с вариантом 1, хотя чаще всего используется вариант 2. Прогиб в центре пластины (узел 13) уменьшается 35,4 %. Сравним варианты 3 и 4 с одинаковой нагрузкой. Лучше использовать вариант 3. Можно сделать вывод, что при проектировании сетчатых пластин и оболочек необходимо использовать различные варианты сеток и сравнивать результаты. В последнее время часто используют сетчатые оболочки с треугольными и гексагональными элементами.

Итак, чаще всего в уникальных сооружениях применяют две сетчатые оболочки, жестко связанные между собой, или сетчатые оболочку и полосу, или сетчатую оболочку и зонтичную конструкцию (рис. 13–16). Для оптимального варианта конструкции необходимо учитывать надежность, долговечность, технологичность, экономичность и, конечно, эстетическую составляющую. При проектировании можно применять бионические принципы, которые возникли на основе изучения закономерностей развития конструктивных систем биологических объектов, например, такие, как строение решеток конструкций, оптимизация конструкции по массе, плотная упаковка покрытий, размещение слоев материала в конструкциях, накопление упругой энергии, направленная форма потери устойчивости, направленность структур и армирование материала упрочняющими элементами и другие.



Рис. 13. Башня Сент-Мэри-Экс, 30, или башня «Огурец»



Рис. 14. Перекрытие в здании ГУМа в Москве

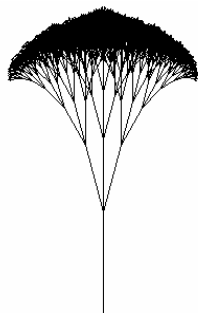


Рис. 15. Модель растения в виде зонтика



Рис. 16. Перекрытие торгового центра «Авиапарк» в Москве

При исследованиях в области архитектурной бионики применяются два метода: непосредственное копирование закономерностей природы и моделирование главных этапов развития и совершенствования конструкций, форм, структур биологических объектов на основе законов эволюции научно-техническими средствами. Развитие архитектурно-строительной бионики происходит в двух направлениях: изучение законов и принципов формообразования, законов организации биологических объектов, архитектоники растений и живых организмов и использование этих свойств в архитектуре; изучение строения конструктивных систем биологических объектов по принципу экономии материала, энергии и обеспечения надежности строительных конструкций [8]. Если архитекторы, работающие в первом направлении, используют закономерности в своих сооружениях, то проектировщики, работающие во втором направлении, недостаточно применяют преимущества биологических объектов.

Список литературы

1. Краснобаев, И.А. Основы расчета на изгиб тонких жестких пластин / И.А. Краснобаев, И.А. Маяцкая. – Ростов н/Д: РГСУ, 2011. – 87 с.
2. Теория пластин и оболочек / И.А. Краснобаев, И.А. Маяцкая, И.И. Смирнов, Б.М. Языев. – Ростов н/Д: РГСУ, 2012. – 114 с.
3. Применение метода конечных элементов для расчета составной конструкции из пластин и оболочек / И.А. Краснобаев, И.А. Маяцкая, Г.А. Икуру, П.А. Швецов // Научное обозрение. – 2014. – №9–3. – С.867–869.
4. Гнедич, П.П. Мировая архитектура / П.П. Гнедич. – М.: Эксмо-Пресс, 2012. – 240 с.
5. Трубе, Г. Путеводитель по архитектурным формам / Г. Трубе. – М.: Архитектура – С, 2014. – 216 с.
6. Кушнер, М. Будущее архитектуры. 100 самых необычных зданий / М. Кушнер. – М.: АСТ, 2016. – 176 с.
7. Mount, C. A new sculpturalism: contemporary architecture from Los Angeles / C. Mount, J. Deitch. – New York: Skira Rizzoli Publications, 2013. – 272 p.
8. Villesenor, D. Architecture and nature / D. Villesenor. – New York: Rizzoli, 2015. – 334 p.

References

1. Krasnobayev, I.A. Basis of calculation for bending of thin rigid plates / I.A. Krasnobayev, I.A. Mayatskaya. – Rostov n/D: RGSU, 2011. – 87 p.
2. Theory of plates and shells / I.A. Krasnobayev, I.A. Mayatskaya, I.I. Smirnov, B.M. Yazyev. – Rostov n/D: RGSU, 2012. – 114 p.

3. Application of the finite element method for calculation of composite structures plates and shells / I.A. Krasnobayev, I.A. Mayatskaya, G.A. Ikuru, P.A. Shvetsov // Scientific review. – 2014. – №9–3. – P.867–869.
4. Gnedich, P.P. Gnedich, P. P. World architecture / P.P. Gnedich. – M.: Eksmo-Press, 2012. –240 p.
5. Trube, G. Guide to architectural forms / G. Trube. – M.: Architecture – C, 2014. – 216 p.
6. Kushner, M. Future of architecture. 100 of the most unusual buildings/ M. Kushner. – M.: AST, 2016. – 176 p.
7. Mount, C. A new sculpturalism: contemporary architecture from Los Angeles / C. Mount, J. Deitch. – New York: Skira Rizzoli Publications, 2013. – 272 p.
8. Villesenor, D. Architecture and nature / D. Villesenor.– New York: Rizzoli, 2015. – 334 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

Кутай Евгений Петрович,
аспирант кафедры «Градостроительство»
E-mail: kutayevg@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

Kutay Evgeniy Petrovich,
Postgraduate of the department «Urban
Planning»
E-mail: kutayevg@gmail.com

СИСТЕМА ВЫСОТНЫХ ДОМИНАНТ ЦЕНТРА ИСТОРИЧЕСКОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ Г. ПЕНЗЫ)

Е.П. Кутай

Приводятся современная система доминант центра г. Пензы, их классификация. Рассматривается сегодняшнее положение исторических доминант, их восприятие с разных точек города, ВЗАИМОСВЯЗЬ ландшафтных и градостроительных доминант как часть образа города.

Ключевые слова: архитектурный образ города, центр исторического города, высотные ориентиры, панорама

THE SYSTEM OF HIGH-RISE LANDMARKS IN THE HISTORICAL CITY CENTER (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF PENZA)

E.P. Kutay

The article presents the modern system of high-rise landmarks in the center of Penza. The current state of historical high-rise landmarks, their perception from different points of the city is analyzed. Interrelation of landscape and urban landmarks as part of the city image is considered.

Keywords: architectural image of the city, historical city center, high-rise landmarks, panorama

Каждый город имеет неповторимый образ, который складывался в течение долгого времени в зависимости от рельефа, климатических условий, культурных и социальных особенностей населения, развития техники. Все эти факторы, особенно ландшафт, влияют на сеть улиц и высотную композицию города [1]. Его образ воспринимается человеком через сумму впечатлений от восприятия перспектив улиц, панорам площадей, набережных, видовых точек на возвышенностях. Одной из составляющей образа города являются высотные доминанты.

Термины «городские доминанты», «высотные ориентиры» часто используются среди архитекторов. Однако общепринятого определения нет. Подробно этот вопрос рассмотрен в статье Н.Е. Лопатина, он дает такое обобщенное понятие высотной доминанты – «высокие объекты с ярко выраженной вертикальной направленностью, формирующие силуэт города и являющиеся главными объектами в окружающем их пространстве, зрительные ориентиры, которые направляют внимание наблюдателя на главный структурный элемент города, а также иллюзорно увеличивают или уменьшают глубинность городского пространства» [2]. Принимаем это определение с поправкой на то, что в настоящее время зачастую доминанты не являются главными функциональными или композиционными объектами для городской структуры.

До новейшего времени создание системы высотных ориентиров было важной задачей для городов, по ней можно было прочесть планировочную, социальную структуру. Практическая цель системы – облегчить ориентацию в пространстве, поэтому доминанты часто давали названия улицам и районам. Эстетическая функция

системы также важна. Высотными акцентами подчёркивали: особенности рельефа местности, важные городские объекты, композиционные оси и узлы. В Пензе четкую иерархию высотных ориентиров можно проследить на дореволюционных фотографиях, а в советское время – в проектах детальной планировки, отчасти реализованных. Многие западноевропейские города и по настоящее время охраняют систему доминант и высоту средовой застройки в исторических кварталах. Художественная цель создания доминант актуальна и сегодня. В г. Мальмё (Швеция) в районе среднеэтажной застройки построен 190-метровый небоскреб, благодаря которому город стал виден на многие километры.

В последнее десятилетие крупные российские города стали значительно меняться, в том числе и г. Пенза. В современных условиях архитектор часто вынужден проектировать доминирующие объекты там, где есть место для строительства, а не там, где это продиктовано рельефом или градостроительной композицией. Недостаточно жесткие высотные регламенты российских городов этому способствуют. В результате разрушается старая иерархия высотных ориентиров, уменьшается дальность восприятия панорам, раскрытие исторических памятников и природного ландшафта, теряется историческое своеобразие города.

Несмотря на важность высотной композиции города, для г. Пензы она недостаточно изучена. Согласно правилам землепользования и застройки города Пензы, большая часть центра относится к зоне Ц-1 (максимальная высота застройки – 40 м) и Ж-3 (максимальная высота – 80 м) [3]. При таких регламентах создаются условия для строительства высотных объектов, не подчеркивающих особенности рельефа и городской композиции.

Анализ композиции природного каркаса г. Пензы. Восприятие застройки и доминант сильно зависит от рельефа местности. Например, застройка возвышенностей видна на больших расстояниях, чем равнинной части [4]. Поэтому анализ застройки необходимо начать с анализа рельефа (см. рис. 6). Его можно изобразить как композицию линейных и узловых элементов природной системы [5].

Исторический центр г. Пензы по рельефу делится на 2 половины: северную – равнинную и южную – холмистую. Главный водораздел холма проходит между ул. Лермонтова и ул. К.Маркса, он делит центр на несколько визуальных бассейнов: северный и южный (см. рис. 6). Наиболее полно центр воспринимается с правобережной части города и по мере движения по набережным реки Суры (рис.1, 2, 3). Холм с застройкой центра города виден из многих частей г. Пензы, на его хребте находится Спасский собор – самое высокое здание, главная доминанта. Выше располагается парк, являющийся фоном для застройки в панорамах – зеленая «шапка», венчающая город. Вид на холм с собором в окружении зелени – главная городская особенность. С его северной бровки раскрываются картины нижней террасы центра и северные и восточные окраины города (рис. 4).

Анализ видимости высотных доминант в центре г. Пензы. Высотные доминанты в застройке центра г. Пензы были выявлены и классифицированы на основе натурного обследования. На этот предмет были исследованы виды в самом центре города (перспективы улиц, визуальные картины с бровок холмов, панорамы открытых пространств – площадей, скверов, набережных), а также общие виды на центр за его пределами: в основном с набережных, путепроводов. По результатам были составлены схемы размещения доминант и их зоны видимости (рис. 6–9).

По дальности видимости было выделено 3 типа высотных доминант: городского, районного и местного уровня. Доминантам городского уровня свойственна большая дальность восприятия – более 5 км. К ним можно отнести инженерные сооружения, находящиеся вне центра (№ 1–3 на рис. 6, 7). Основной городской доминантой, расположенной в центре Пензы, является Спасский собор (№4). Он выделяется размером, сложным силуэтом, положением на возвышенности, благодаря этому виден из других районов – ГПЗ, Спутник. К доминантам городского уровня был также отнесен (благодаря высоте и близости к главному водоразделу) жилой дом повышенной этажности (№5), построенный неподалеку от собора.

Доминанты районного уровня (№ 6-19 на рис. 1-9) имеют меньшую территорию восприятия (1–3 км) из-за особенностей расположения на природном каркасе, меньшей разницы высоты с окружением.

Доминанты местного уровня воспринимаются акцентами в панорамах одной или 2-х улиц при угловом расположении. Часто они выделяются за счет мелкой пластики (угловых башен и прочих элементов). Например, угловые дома по ул. Московской №1, №88, отмеченные на рис.6 оранжевым цветом.

Тканевая застройка всегда преобладает по визуальной массе над доминантами; чем она цельнее, тем она лучше акцентирует высотные ориентиры. Доминанты, в свою очередь, должны обладать неповторимыми визуально-художественными качествами. В качестве иллюстрации можно привести панораму центра г. Праги: большая часть городской застройки примерно одинаковой высоты, с мелкомасштабными акцентами небольших башенок и куполов, которые в застройке воспринимаются доминантами местного значения, но в панораме они уступают место доминантам более высокого порядка – значимым городским постройкам большего масштаба и высоты.

Противоположную ситуацию наблюдаем в панорамах Пензы: из-за отсутствия единой высоты средовой застройки не складывается четкая высотная структура центра. Особенно ярко это выражено на южном склоне (рис. 5): часть района составляет дореволюционная усадебная застройка, часть – здания средней этажности 1960-2000-х гг. – постройки с единичными 9-этажными высотными акцентами. С конца 2000-х гг. на месте малоэтажной застройки стали возводиться жилые дома высотой 10 этажей и больше, что нивелировало старые акценты. В видовой картине южного склона потерялась визуальная связь застройки и ландшафта. Среда раздроблена разновысотными объемами, выделить доминирующий трудно. Насыщение территории высотными акцентами нивелирует их значимость [6]. Поэтому доминантами районного уровня здесь выделены только объекты, построенные на самой вершине холма по ул. Красная, 49, ул. М.Крылова, 13, в панорамах воспринимаемые на фоне неба (см. рис. 1, 5).

Выявлено, что значительное количество (6 шт.) высотных акцентов, располагающихся вокруг квартала городской администрации, с одной стороны, определяют его в панорамах открытых пространств и перспективах улиц, с другой – визуально удерживают и ограничивают огромную площадь открытых пространств вокруг администрации (см. рис. 7).

Цельно выделена доминантами районного уровня природная ось р. Суры на ул. Урицкого (см. рис. 6, 7) комплексом из трех 12-этажных домов (арх. Е.Н. Стамо) (№13) и 15-этажным домом («Стройдизайнконсалтинг») (№14). Учитывая близость к главной пешеходной улице, следует отметить, что панорама центра, открывающаяся с правого берега р. Суры между Подвесным и Бакунинским мостами, является одним из главных туристических видов на город; поэтому застройка ул. Урицкого крайне важна. Визуальный анализ показал, что жилые дома арх. Е.Н. Стамо закрывают важный вид на холм центра, на Спасский собор и ряд других храмов. При движении от Подвесного моста эти высотки раскрываются длинной стороной и вместе образуют «глухую стену». В панораме подвесного моста (см. рис. 6) между домами на ул. М. Горького и 15-этажным домом (№14) открывается вид на ул. Кирова и доминанты административной площади. Если левая сторона вида перенасыщена доминантами, то правая, севернее ул. Славы, скучна, здесь нет глубоких видов, рельеф плоский, однообразна линия карнизов типовых домов по ул. Славы и рыночной площади. Необходимо создать глубинную архитектурную композицию на месте открытого рынка, раскрывающуюся на р. Суру, что позволит разнообразить ровную панораму этой части берега.



Рис. 1. Вид на центр с Свердловского моста. Картина южного и восточного склонов



Рис. 2. Вид на центр с Подвесного моста. Холм и нижняя терраса центра города



Рис. 3. Вид на центр от бывшего ресторана «Праздничный»

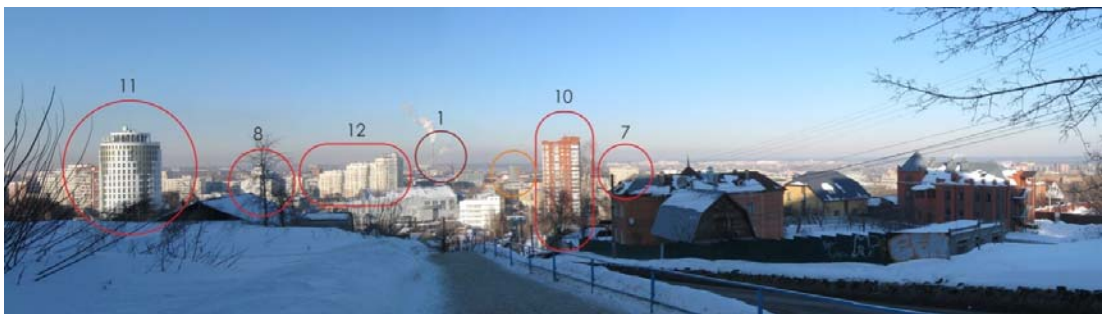


Рис.4. Вид на нижнюю террасу центра с бровки холма на ул. Красной

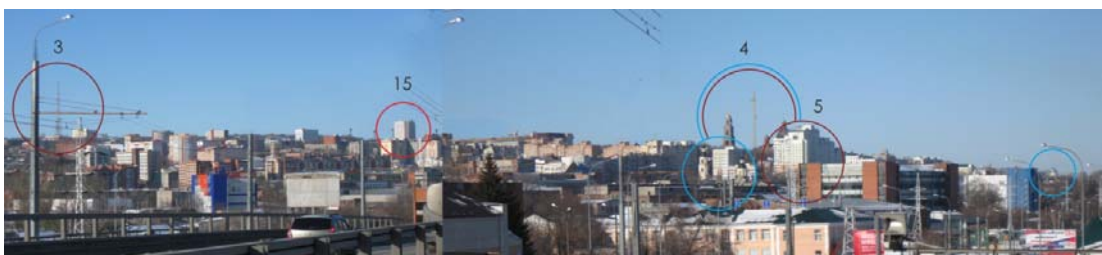


Рис. 5. Вид на центр с Бауманского путепровода. Картина южного склона

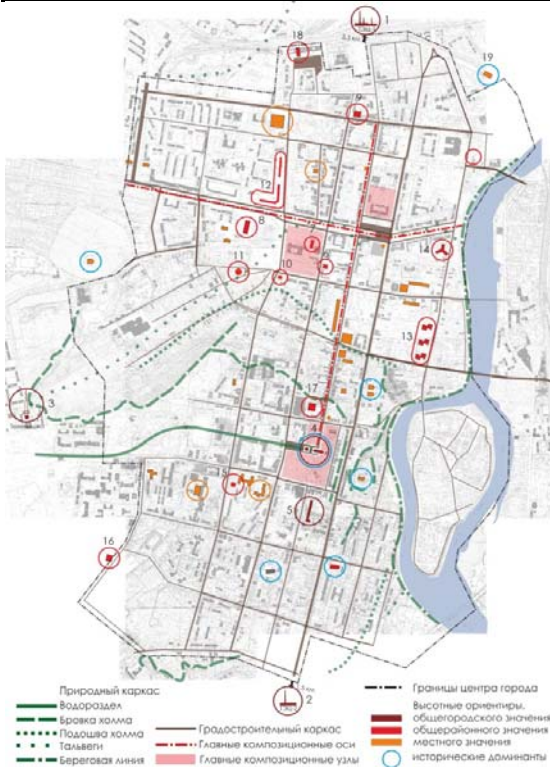


Рис. 6. Схема расположения высотных доминант в структуре города (2015 г.) в сопоставлении с природным и градостроительным композиционным каркасом

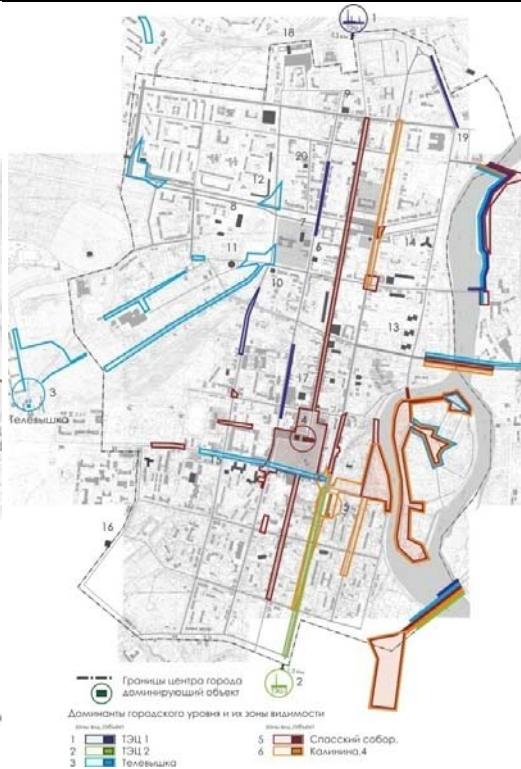


Рис. 7. Схема бассейнов видимости доминант городского уровня (2015 г.)



Рис. 8. Схема бассейнов видимости доминант районного уровня (2015 г.)



Рис. 9. Схема бассейнов видимости доминант городского уровня. Административная площадь (2015 г.)

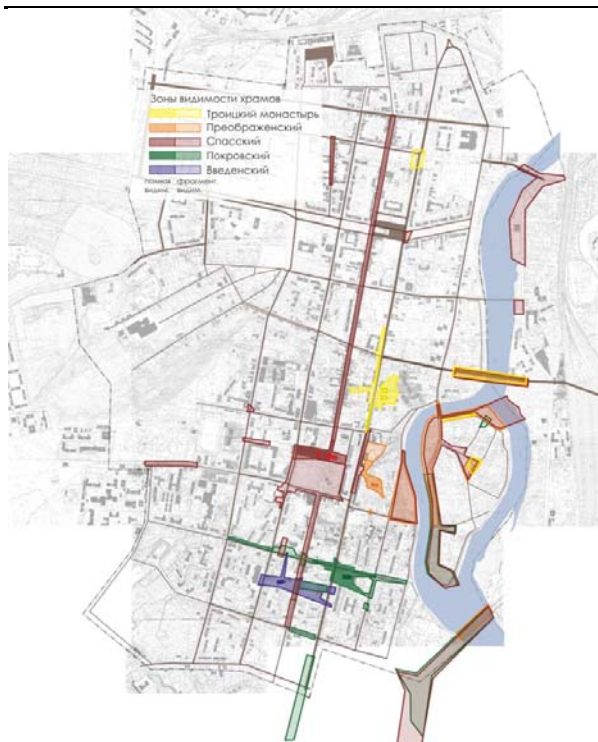


Рис. 10. Схема бассейнов видимости храмов (2015 г.)

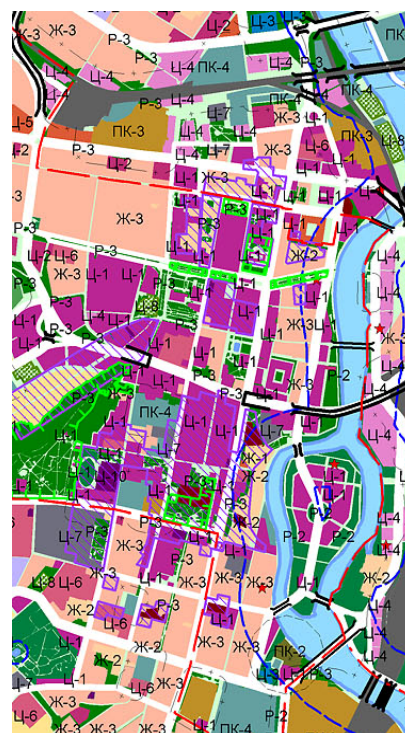


Рис. 11. Фрагмент карты градостроительного зонирования г. Пензы (центральная часть)

Со Свердловского моста раскрывается панорама на южный и восточный склоны холма центра (см. рис. 5). Отсюда видны сразу 5 храмов – фрагмент сохранившейся исторической системы высотных ориентиров. Все храмы, кроме Спасского собора, утратили высотное превосходство над средой, но на фоне коробок новых домов они выделяются за счет сложной проработки объемов и вертикальности композиции. Передний план – нижний ярус видовой картины – составляют малоэтажные дома, средний ярус – 5-этажные здания, которые подчеркивают рельеф, в районе ул. Калинина застройка выше 9 этажей ограничивает картину визуального восприятия. Особенно губителен для панорамы многоподъездный жилой дом повышенной этажности (№5 на рис. 5), закрывающий вид на сквер, в некоторых точках перекрывающий Спасский собор (№4). Это доказательство того, что подобные здания-ширмы не стоит располагать на крутом рельефе и у подножья холмов. Не учитывая дом по ул. Калинина, №4, следует признать, что панорама гармонична, многопланова, здесь выявлен рельеф. Действующее на территории южнее ул. Лермонтова, Замойского согласно ПЗЗ города ограничение по высотности жилой застройки в 25 этажей [3] (чего явно недостаточно!) в перспективе может привести к серьезному искажению этого ценного городского вида, утрате его глубины и многоплановости.

Восприятие здания зависит от рельефа, расположения в квартале и окружающей застройки. Например, 14-этажные жилые башни на ул. Пушкина в глубине равнинного квартала 5-9-этажной застройки практически не видны за его пределами. В то же время 8-этажная башня в верхнем квартале ул. Московской среди малоэтажной застройки доминирует и создает диссонанс в перспективе исторической улицы и в панораме. Это доказывает необходимость введения поквартальных высотных регламентов.

Система доминант стала носить динамический характер: 9 из 16 доминант городского и районного уровней возведено за последние 10 лет. Большая часть доминант выделяет природный или градостроительный каркас. Однако это произошло случайно – создание высотных доминант подчинено не художественной необходимости, носит утилитарный характер. Из-за перенасыщенности высотными объектами система доминант плохо читается.

Исторические доминанты. Отдельно изучалось современное положение в застройке исторической системы высотных доминант – церквей. Главная композиционная ось, вдоль которой размещалось наибольшее количество храмов, – ул. Кирова – ул. Калинина. В 1930-50-е гг. снесена часть храмов, а те, которые сохранились, были лишены колоколен и глав, они исчезли из панорамных видов. В 1990-е годы началось восстановление Покровского собора, церковь стала заметна в панорамах и перспективах улиц и из других районов (см. рис. 4, 10). Но из-за советских 9-этажек с одной стороны и новых 10-16-этажных домов с другой храм перестал быть виден в перспективе ул. Калинина. Если бы окружающая застройка была средней этажности, то колокольня собора просматривалась бы значительно дальше по ул. Калинина. Хуже ситуация с Введенской церковью: скоро её окружит колодец 10-14-этажной застройки.

Троицкий монастырь в перспективе ул. Кирова могло бы выделить строительство звонницы на красной линии. Возможно, восстанавливаемый Воскресенский собор снова будет виден в перспективе ул. Кирова.

Таким образом, сегодня церкви практически не видны в перспективах улиц, целю храмы еще воспринимаются с набережных, с мостов (см. рис. 10).

Стоит отметить, что колокольни храмов, в отличие от новых многоэтажных зданий, выигрышнее акцентируют местность: небольшие в плане, высокие и стройные объемы практически не закрывают фона. А высотным зданиям при застройке холмистой местности следует отводить территорию на заднем плане приречных панорам, но лучше их строить на равнинном ландшафте для формирования силуэта.

Сегодня уже утверждена зона охраны регулирования застройки Спасо-Преображенской церкви [7]. В эту зону попали территории, ограниченные улицами К.Маркса, Кирова, Замойского, а также о. Пески и набережная правого берега. В разных частях этой зоны высота нового строительства ограничена 15-18 метрами. Для сохранения приречной панорамы в эту зону необходимо включить весь восточный склон ниже улиц Калинина и Кирова.

Заключение. Показана необходимость учета панорамы города при новом строительстве. В качестве иллюстрации был рассмотрен центр города Пензы, находящегося на холмистой местности.

Список литературы

1. Логунова, Е.Н. Особенности формирования визуального образа крупного города (на примере Красноярска) / Е.Н. Логунова // Молодёжь и наука: материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. – URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section02.html>, свободный.
2. Лопатин, Н.Е. Архитектурная доминанта: обобщение знаний и формирование теории проектирования / Н.Е. Лопатин // Архитектон: известия вузов. – Июнь 2009. – № 26. – URL: http://archvuz.ru/2009_2/4, свободный
3. Решение Пензенской городской Думы от 22 декабря 2009 г. N 229-13/5 «Об утверждении Правил землепользования и застройки города Пензы». – URL: <http://www.penza-gorod.ru/doc2-2.html>, свободный.
4. Крогиус, В.Р. Город и рельеф / В.Р.Крогиус. – М.: Стройиздат, 1979. – 129 с.
5. Лапшина, Е.А. Композиция города и рельеф / Е.А. Лапшина. – Владивосток, 2003. – 240 с.
6. Иконников, А.В., Архитектура города. Эстетические проблемы композиции/ А.В. Иконников. – М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1972. – 226 с.
7. Постановление Правительства Пензенской области от 1 июля 2013 г. № 457-пП.

1. Logunova, E.N. Features of formation of the visual image of a large city (on an example of Krasnoyarsk) / E.N. Logunova // Youth and Science: Proceedings of the VIII All-Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists dedicated to the 155th anniversary of the birth of Konstantin Tsiolkovsky. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University Press, 2012. – URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section02.html>, free access.
2. Lopatin, N.Ye. Architectural dominant: Generalization of knowledge and formation of theory of design / N.Ye. Lopatin // Architecton: Proceedings of Higher Education, electronic journal, № 26 June 2009. – URL: http://archvuz.ru/2009_2/4, free access.
3. Resolution of Penza City Duma on December 22, 2009. N 229-13/5 «On approval of land use and development of the city of Penza». – URL: <http://www.penza-gorod.ru/doc2-2.html> – URL: http://archvuz.ru/2009_2/4, free access
4. Krogus, V.R. City and relief / V.R. Krogus – M.: Stroyizdat, 1979. – 129 p.
5. Lapshina, E.A. The composition of a city and landscape / E.A. Lapshina. – Vladivostok, 2003. – 240 p.
6. Ikonnikov, A.V., Architecture of a city. Aesthetic problems composition / A.V. Ikonnikov – M: Izdat. Literature on Building, 1972. – 226 p.
7. Resolution of the Government of the Penza region on July 1, 2013 № 457-PP.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 69.059

Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства

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

Хаметов Тагир Ишмуратович,
доктор экономических наук, профессор,
зав. кафедрой «Землеустройство и
геодезия»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Khametov Tagir Ishmuratovich,
Doctor of Economics, Professor, Head of the
department «Land management and geodesy»

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И УЧЕТА СВЕДЕНИЙ ОБ ОБЪЕКТАХ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Т.И. Хаметов

Указаны особенности и необходимость формирования сведений об объектах капитального строительства (ОКС). Представлены основные источники и условия формирования сведений об ОКС. Приведены схемы и направления совершенствования государственного технического учета ОКС.

Ключевые слова: объекты капитального строительства; формирование сведений; технический учет; информационное пространство

FEATURES OF FORMATION AND ACCOUNTING OF INFORMATION ABOUT OBJECTS OF CAPITAL CONSTRUCTION

T.I. Khametov

The features and the necessity of formation of information about objects of capital construction (ACS) are given. The main sources and conditions of formation of information about ACS are shown. The schemes and ways of improving the state of technical accounting of ACS are presented.

Keywords: objects of capital construction; formation of information; technical accounting; information space

Под формированием сведений об объектах капитального строительства следует понимать создание в полном объеме упорядоченной совокупности необходимых сведений о пространственных, правовых, экологических, технических, экономических и социальных характеристиках ОКС и перенесения их в виде документов в информационную систему [4, с. 86].

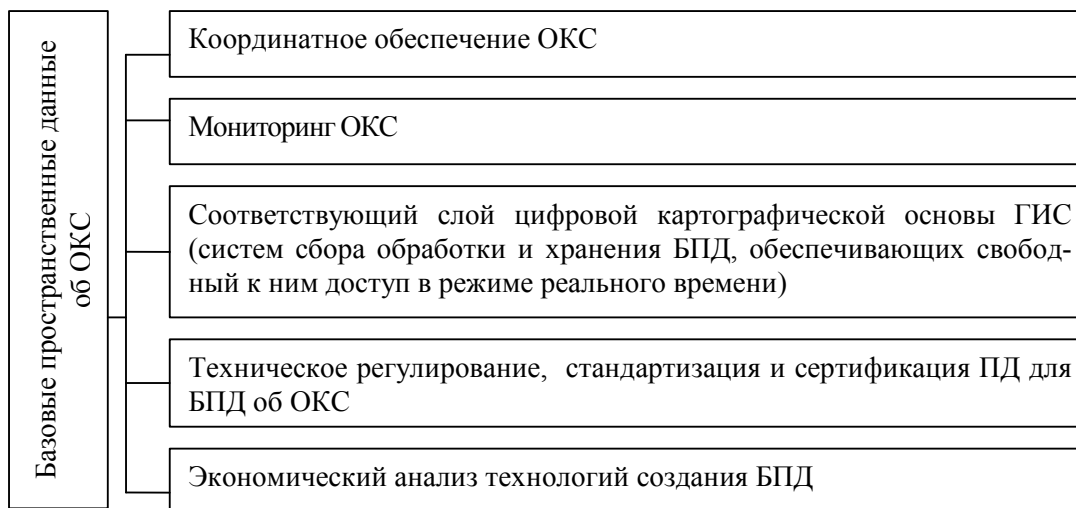
Совокупность таких сведений о конкретном ОКС позволяет обозначить его однозначную идентификацию.

Источниками формирования информационных ресурсов (сведений) об ОКС являются:

- государственный кадастр недвижимости (ГКН);
- органы государственной власти;
- территориальные органы министерств и ведомств;
- органы, осуществляющие кадастровый и технический учет объектов недвижимости (ФГУ ЗКП и ФГУП «Ростехинвентаризация»);
- органы, осуществляющие регистрацию прав на недвижимое имущество и сделок с ним;
- риэлторские фирмы и другие организации, осуществляющие операции с объектами недвижимости;
- юридические и физические лица, предоставляющие информацию об объекте недвижимости при постановке на государственный кадастровый учет и регистрации прав;
- материалы информационных служб и научных исследований.

Основой формирования сведений должна стать единая система сбора, хранения и представления пространственных данных об ОКС на всех административно-территориальных уровнях управления. Согласно Л.И. Абалкину [2], информационное пространство – совокупность баз данных, технологии их ведения и использования, информационно-телекоммуникационных сетей и систем, функционирующих на основе общих принципов и по правилам, обеспечивающим информационное взаимодействие организаций и граждан, а также удовлетворение их информационных потребностей.

Пространственные данные (ПД) – это цифровые данные об объектах, представленные в местной системе координат, сведения о местоположении, форме и свойствах объекта. Описание ПД об объектах недвижимости выполняется с использованием базовых пространственных данных (БПД) (см. рисунок), которые не согласованы между собой по методам получения и обработки, систематизации и хранения, обмена и отображения, имеют различные уровни полноты, достоверности и точности.



Базовые пространственные данные об объектах капитального строительства

К причинам, затрудняющим совместное использование ПД, относятся: несовершенство системы идентификации, которая должна быть единой, отставание законодательства; наличие ограничений на распространение ПД. Следует отметить неактуальность материалов государственного картографо-геодезического фонда РФ, что приводит к снижению эффективности формирования и использования информационных ресурсов. Из имеющихся 50 млн единиц хранения картографических дел 80 % устарело [3, с.30].

К основным условиям формирования единого информационного пространства на территории административного образования относятся:

1) разделение функций (Росреестр – актуализация сведений о земельных участках и об ОКС, ведение реестра прав на объекты недвижимости и сделок с ними; Федеральное агентство по управлению государственным имуществом – разработка и уточнение программ приватизации, рекомендаций по управлению недвижимостью; Главное управление архитектуры и градостроительства – зонирование земли, ведение адресного реестра, контроль за использованием земель населенных пунктов и ее застройкой);

2) синхронизация работы ведомств федерального и муниципального уровней (обмен информацией в режиме реального времени по единым принципам и правилам ведения информационной базы);

3) автоматизация стандартных приемов сбора и выдачи информации;

4) публичный характер информации об объектах недвижимости.

Формирование пространственных, количественных и качественных, правовых и экономических сведений об ОКС осуществляется на основе проведения Государственного технического учета и технической инвентаризации (далее – учета) с оформлением технического паспорта на объект.

В табл.1 представлен составленный автором перечень сведений об ОКС, необходимых для внесения в Единый Государственный реестр ОКС (ЕГРОКС) согласно правилам его ведения [5,с. 76].

Т а б л и ц а 1

Состав сведений ЕГРОКС

№ п/п	Источники и состав сведений об объекте недвижимости	Вид объекта недвижимости			
		здание	сооружение	ОНЗС	помещение
1	2	3	4	5	6
Государственный земельный кадастр					
1	Кадастровый номер земельного участка (при наличии)	+	+	+	+
2	Координаты поворотных точек земельного участка	+	+	-	-
Технический паспорт и учетно-техническая документация организации технической инвентаризации (ОТИ)					
3	Кадастровый номер здания, сооружения (при наличии)	-	-	-	+
4	Инвентарный номер по результатам технического учета и технической инвентаризации	+	+	-	+
5	Наименование объекта учета	+	+	+	+
6	Тип объекта учета в соответствии с перечнем	+	+	+	-
7	Назначение объекта учета в соответствии с перечнем	+	+	+	-
8	Адрес местоположения	+	+	+	+
9	Литера	+	+	+	+
10	Этажность, этажность подземная	+	-	-	-
11	Тип этажа	-	-	-	-
12	Номер этажа	-	-	-	-
13	Номер помещения на поэтажном плане	-	-	-	+
14	Общая площадь	+	-	-	+
15	Жилая площадь (основная площадь)	-	-	-	+
16	Количество жилых комнат	-	-	-	+
17	Протяженность, объем, площадь и высота, соответственно, для линейных, объемных, площадных и высотных сооружений	-	+	-	-
18	Материал и конструкция фундамента (в соответствии с перечнем)	+	+	-	-
19	Материал стен: перекрытия, крыши (в соответствии с перечнем)	+	-	-	-
20	Площадь застройки	+	-	-	-
21	Год строительства (ввода в эксплуатацию)	+	-	-	-
22	Год реконструкции (капитального ремонта)	+	-	-	-

1	2	3	4	5	6
23	Процент износа	+	-	-	-
24	Инвентаризационная стоимость	+	-	-	+
25	Дата определения инвентаризационной стоимости	+	-	-	+
26	Наименование ОТИ	+	-	-	+
27	Дата проведения технического учета и технической инвентаризации	+	-	-	+
28	Сведения о благоустройстве (для жилого фонда): наличие электро-, газо-, водоснабжения, канализации, лифтов, мусоропроводов и ванн	+	-	-	-
29	Примечание: сведения о нарушении СНиП, наличие разрешения на строительство и прочие сведения, имеющие существенное значение для ведения реестра	+	+	-	-

В отличие от кадастрового учета земельных участков учет ОКС ведется в ЕГРОКС и регулируется не федеральными законами, а постановлениями Правительства РФ, приказами.

По периодичности ведения учет ОКС подразделяется на первичный, плановый и внеплановый. Анализ показал, что в настоящее время в обязательном порядке осуществляется учет лишь жилых зданий, вводимых в эксплуатацию после строительства, реконструкции и капитального ремонта, а учет текущих изменений состояния ОКС выполняется только по заявочному принципу. Следовательно, отсутствует периодичность проведения обследований ОКС согласно установленным нормативам. Кроме того, современное состояние технического учета недвижимости создает условия для уклонения от налогов на нее и не способствует эффективному контролю и управлению ОКС.

Технологии учета ОКС автором выделены в следующие схемы:

- 1) учет и инвентаризация;
- 2) учет и сбор дополнительных сведений;
- 3) мониторинг изменений в составе и состоянии ОКС.

При учете ОКС по первой схеме учету подлежат все объекты, вводимые в эксплуатацию. Учет и инвентаризация по этой схеме осуществляются по одним и тем же характеристикам объекта. Комбинированный учет по второй схеме применяется, как правило, в интересах «многослойного» управления. В этой разновидности учету подлежат основные характеристики объектов, на основе которых осуществляется оперативное управление. А остальные характеристики, необходимые для стратегического управления, периодически добываются из других источников и «привязываются» к объектам управления для анализа и принятия решений.

Результатом учета является составленный на каждый объект технический паспорт, в котором фиксируются наличие объекта в натуре, его местоположение, собственник, границы площади застройки объекта, состав, назначение, фактическое использование, технические характеристики (площадь, этажность, ширина, длина, высота, объем и пр.), инвентаризационная и балансовая стоимости, состояние в виде износа, инвентарный, реестровый, кадастровый номера, а также отметка о внесении сведений о данном объекте в единый государственный реестр ОКС (ЕГРОКС).

Технический учет возложен на аккредитованные Росреестром организации технической инвентаризации (ОТИ), которые находятся в ведении различных органов субъектов РФ и муниципальных образований, в т.ч. ФГУП «Ростехинвентаризация».

По данным статуправления Пензенской области, многоквартирных домовладений в городах и селах – 246 446. Из них проинвентаризовано 147 534, то есть 60 %, а электрические линии в сельской местности – лишь на 15 %. Если объекты энергетики, газификации в области проинвентаризованы полностью, то объекты промышленности, сельского хозяйства – в малом количестве, а дороги федерального, областного и муниципального подчинения еще не начали инвентаризировать. Положение усугубляется тем, что переводимые в электронную базу данных инвентарные дела содержат

устаревшую информацию об ОКС, не обновленную с момента сдачи их в эксплуатацию.

Непосредственно в г. Пензе по состоянию на 01.01.2015г. была произведена общая оцифровка архивного материала и было переведено в электронную базу 100 % инвентаризованных дел, в том числе внесено в единый государственный реестр ОКС 100 % дел (табл.2).

Т а б л и ц а 2

Данные по техническому учету (инвентаризации) объектов недвижимости по состоянию на 01.01.2015 г.

№ п/п	Наименование объектов инвентаризации	Количество объектов				
		Инвентаризовано	Переведено в электронную базу		Внесено в ЕГРОКС (ЕГРОН)	
			дел	%	дел	%
1	Индивидуальное жилищное строительство	22839	22839	100	22839	100
2	Многоквартирные дома	3915	3915	100	3915	100
3	Нежилые здания и строения	4217	4217	100	4217	100
4	Дачи	4979	4979	100	4979	100
5	Сооружения	1541	1541	100	1541	100
6	Жилые помещения	191820	191820	100	191820	100
7	Нежилые помещения	11356	11356	100	11356	100
	Всего:	240667	240667	100	240667	100

Анализ показал, что в электронной базе данных бюро технической инвентаризации (БТИ) содержатся сведения не о всех ОКС. Причем наименьший процент инвентаризации приходится на сооружения.

Имеется дублирование разрозненных информационных реестров, отмечаются наличие погрешностей в сведениях об ОКС, различия в идентификации объектов и субъектов права, а также сложности в проверке взаимного расположения объектов.

В целях согласованности действий различных органов представляется необходимым на основе двухуровневой системы учета установить [6, с.24]:

1) *упрощенный технический учет* для целей налогообложения и других государственных нужд с обеспечением 100 %-го охвата земель и ОКС;

2) *полномасштабный учет* при описании ОКС в заявительном порядке.

Проведение упрощенного учета объектов может быть закреплено за органами власти субъектов федерации с возможным делегированием полномочий местному самоуправлению за счет средств бюджетов при соблюдении единых требований к процедуре, составу и формату данных.

Следует отметить, что при наличии права собственности на земельный участок расположенное на нем здание следует рассматривать как улучшение земельного участка. Это улучшение подлежит описанию как одна из частей участка в форме Ф.1.5 единого государственного реестра земель. В результате земельный участок с улучшением будет находиться на кадастровом учете с присвоением ему кадастрового номера. Здание кадастрового номера иметь не будет, поскольку оно – всего лишь улучшение участка. Это здание будет поставлено органами БТИ на технический учет для расчета налога на имущество, но только не для целей регистрации прав на него. Такой методический подход позволит скорректировать сложившийся с принятием федерального закона [1] подход к разделению земельного участка и иного объекта недвижимости, расположенного на нем.

Одним из направлений совершенствования учета ОКС может быть передача этой функции муниципальным образованиям, администрация которых участвует в

формировании и учете объектов недвижимости. При этом можно выделить вопросы, не относящиеся к государственным функциям по учету ОКС.

При выборе вопросов по совершенствованию учета ОКС в первую очередь следует уделить внимание учету для целей единого налогообложения. Именно в этом направлении может быть достигнута эффективность учета и взаимодействия органов государственной власти и ведомств. Следует учесть и то, что введение единого налога на недвижимость требует выполнения подготовительных работ (формирование реестра ОКС, установление порядка взаимодействия органов государственной власти и местного самоуправления, осуществляющих различные функции учета и управления). Упрощенный учет ОКС для целей налогообложения и других государственных нужд может быть проведен субъектами федерации с делегированием отдельных полномочий муниципальным образованиям за счет средств бюджетов и по единой технологии. Эффективность проведения учета будет обеспечена за счет его централизации, расширения налоговой базы и доходов от использования учетных ОКС.

В ы в о д ы . Формирование сведений об ОКС должно выполняться с использованием пространственных данных, которые имеют одинаковый уровень полноты, достоверности и точности, а также согласованы между собой по методам получения, хранения и отображения.

Состояние и технология учета ОКС не способствуют эффективному контролю за использованием недвижимости, создают почву для уклонения от налогов на неё, не соблюдается периодичность проведения обследования ОКС. При учете сведений об ОКС представляется необходимым проведение следующих операций:

- определение перечня характеристик об объектах недвижимости, занесение которых в единую учётно-информационную систему целесообразно с точки зрения обеспечения информационной достоверности и достаточности, а также правовой корректности информации;
- объединение ОКС, земельных участков и иной недвижимости в единую учётно-информационную систему сведений об объектах недвижимости;
- ужесточение контроля и ответственности за полноту и достоверность представляемых сведений об ОКС организациями, осуществляющими их актуализацию;
- совершенствование методики оценки технического состояния ОКС;
- проведение паспортизации всех ОКС на основе технической инвентаризации по целевой программе в каждом субъекте РФ;
- восстановление периодичности учета ОКС с проведением работ, финансируемых из средств бюджета;
- проведение учёта с использованием сведений, содержащихся в бухгалтерской отчетности;
- объединение в единую федеральную систему всех ОТИ, в ведении которых находятся архивы технической инвентаризации, являющиеся федеральной собственностью и частью Архивного фонда РФ. Это предотвратит рассредоточение данных учета по различным, в том числе коммерческим ОТИ, а также обеспечит надлежащий контроль за состоянием информационных процессов [7, с.17];
- включение в выписку из ЕГРОКС только основных сведений по описанию ОКС, сформированных и учтенных как объекты права (а не инвентарного учета), и только тех, которые необходимы для заполнения подразделов единого государственного реестра прав;
- при графическом оформлении объектов недвижимости считать достаточным план контура объекта или несущих стен (конструкций) без детализированных поэтажных планов и промеров, так как это не имеет значения для учета и регистрации прав;
- в Градостроительный кодекс внести унифицированные определения понятий ОКС по видам, назначению и другим уникальным характеристикам, которые используются ОТИ и службами при регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним.

В заключение необходимо отметить, что реализация вышеуказанных предложений обеспечит единые подходы к формированию и учету сведений об ОКС для целей их

налогообложения, а также единое информационное пространство для целей эффективного управления недвижимостью. Это позволит устранить высокие издержки формирования, учета и регистрации прав на объекты недвижимости; сложность определения местоположения объекта недвижимости; возможность регистрации прав разных лиц на одни и те же объекты недвижимости; наличие большого числа неучтенных объектов и самовольного строительства; низкий уровень инвестиций в государственную недвижимость; неэффективность действующей системы налогообложения недвижимости; отсутствие мотивации эффективного использования объектов недвижимости.

Список литературы

1. Российская Федерация. Законы. О государственном кадастре недвижимости: закон РФ от 24.07.2007 г. №221-ФЗ.
2. Абалкин, Л.И. Экономическая энциклопедия / Л.И. Абалкин; под гл. ред. Л.И. Абалкина. – М.: Экономика, 1999. – 1055 с.
3. Волков, Т.И. Состояние и основные направления развития землеустройства в Российской Федерации: моногр. / под ред. С.Н. Волкова. – М.: Гос. ун-т по землеустройству, 2006. – 319 с.
4. Хаметов, Т.И. Государственный кадастр недвижимости в системе управления объектами недвижимости: моногр. / Т.И. Хаметов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 216 с.
5. Хаметов, Т.И. Совершенствование системы управления земельно-имущественным комплексом региона, муниципального образования и отдельного хозяйствующего субъекта: моногр. / Т.И.Хаметов. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 304 с.
6. Хаметов, Т.И. Эффективность управления земельно-имущественным комплексом на различных территориальных уровнях. Теория, методика и практика (на примере Приволжского федерального округа): автореф. дис. ... д-ра экон. наук. – М., 2009. – 47 с.
7. Хаметов, Т.И. Учет объектов недвижимости в составе земельно-имущественного комплекса / Т.И. Хаметов // Экономика и учет в строительстве. – 2008. – № 8 (122). – С. 11–18.

References

1. The Russian Federation. Laws. On the state cadastre of real estate: the law of the Russian Federation from 24.07.2007 №221-FZ.
2. Abalkin, L.I. Economic encyclopedia / L.I. Abalkin; Chapter under the editorship of L.I. Abalkina. – M.: Economy, 1999. – 1055 p.
3. Volkov, T.I. State and main directions of land development in the Russian Federation: monogr. / under the editorship of S.N. Volkova. – M.: State University of land management, 2006. – 319 p.
4. Khametov, T.I. State cadastre of real estate management system real estate: monogr. / T.I. Khametov. – Penza: PGAUS, 2014. – 216 p.
5. Khametov, T.I. Improving the system of management of land-property complex of region, municipalities and private economic entities: monogr. / T.I. Khametov. – Penza: PGUAS, 2009. – 304 p.
6. Khametov, T.I. Efficiency of management of land-property complex at the various territorial levels. Theory, methodology and practice (on the example of Privolzhsky Federal district): author. dis. ... d-ra ekon. sciences. – M., 2009. – 47 p.
7. Khametov, T.I. Accounting of real estate objects as part of the land-property complex / T.I. Khametov // Economics and accounting in construction. – 2008. – № 8 (122). – P. 11–18.

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

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

Иванова Дарья Сергеевна,
студентка
E-mail: dasha.ivanova.9@yandex.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Ivanova Dariya Sergeevna,
student
E-mail: dasha.ivanova.9@yandex.ru

РОЛЬ ФИНАНСОВОГО АНАЛИЗА В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Т.В. Учаева, Д.С. Иванова

Показаны роль и значение финансового анализа деятельности строительного предприятия в условиях рыночных отношений. Представлен анализ ряда показателей финансового состояния предприятия, позволивший выявить недостатки в деятельности организации. На основе анализа даны рекомендации, которые помогут предприятию не допустить утраты платёжеспособности и улучшить свою деятельность.

Ключевые слова: анализ финансово-хозяйственной деятельности, финансовые коэффициенты, ликвидность, платёжеспособность, рентабельность предприятия

ROLE OF FINANCIAL ANALYSIS IN EFFICIENCY INCREASE OF BUILDING COMPANIES

T.V. Uchaeva, D.S. Ivanova

This article shows the role and importance of financial analysis of a building enterprise in the conditions of market relations. The analysis of a number of indicators of the financial conditions of a company which made possible to reveal shortcomings in the work of the company. On the basis of the analysis recommendations that will allow the company to avoid the loss of solvency and improve its performance are given.

Keywords: analysis of financial and business activities, financial ratios, liquidity, solvency, profitability of the enterprise

Финансовое состояние является результатом взаимодействия всех производственно-хозяйственных факторов. Оно сказывается на платёжеспособности хозяйствующего субъекта, способности вовремя удовлетворять платёжные требования поставщиков в соответствии с хозяйственными договорами, возвращать кредиты, выплачивать зарплату, вносить платежи в бюджет [1].

Финансовое состояние субъектов хозяйствования является предметом пристального внимания обширного круга заинтересованных лиц: собственников, менеджеров предприятия, правительственных органов, банков, налоговых органов, контрагентов по бизнесу, аудиторов и др. Поэтому анализ финансового состояния имеет очень большое значение. Он является важнейшим условием управления и разработки финансовой стратегии организации [2].

Роль и значение анализа финансового состояния предприятия в условиях рыночных отношений существенно повышается. Это связано с тем, что предприятия юридически и экономически самостоятельны и ответственны за результаты своей деятельности перед акционерами, персоналом, кредитными учреждениями и кредиторами, и предполагается проведение ими сбалансированной заинтересованной политики по поддержанию и укреплению финансового состояния их платежеспособности и финансовой устойчивости [1].

Финансовый анализ может выполняться как управленческим персоналом данного предприятия, так и любым внешним аналитиком, поскольку в основном базируется на общедоступной (публичной) информации о финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

Основная цель анализа финансового состояния заключается в том, чтобы на основе объективной оценки использования финансовых ресурсов выявить внутривозможные резервы укрепления финансового положения и повышения платежеспособности. Для анализа финансового состояния используется система абсолютных и относительных показателей, основу которых составляют: оценка динамики, состава и структуры активов, их состояния и движения; оценка динамики, состава и структуры источников собственного и заемного капитала, их состояния и движения; анализ абсолютных и относительных показателей финансовой устойчивости предприятия и оценка изменения ее уровня; анализ платежеспособности и ликвидности; изучение причин изменения финансового состояния и подготовки рекомендаций по повышению финансовой устойчивости и платежеспособности предприятия.

Был проведен анализ ряда показателей финансового состояния предприятия «Московский городской центр продажи недвижимости» за 2011–2014 годы. Предприятие является застройщиком крупных жилых комплексов в г. Москве и Московской области и одновременно оказывает широкий спектр услуг, связанных со сделками с недвижимостью.

В условиях экономической обособленности и самостоятельности хозяйствующий субъект обязан в любое время иметь возможность срочно погашать свои внешние обязательства, т.е. быть платежеспособным, или краткосрочные обязательства, т.е. быть ликвидным.

Была проведена оценка расчетных коэффициентов ликвидности предприятия (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Основные показатели ликвидности предприятия за 2011-2014 годы

Показатель	Анализируемый период				Рекомендуемое значение
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	
1. Общий коэффициент ликвидности	0,97	0,50	0,17	0,28	1-2,5
2. Коэффициент абсолютной ликвидности	0,73	0,001	0,005	0,12	0,2-0,5
3. Коэффициент срочной ликвидности	1,34	1	0,31	0,37	0,7-1
4. Коэффициент текущей ликвидности	1,44	1,00	0,34	4,28	2-3,5
5. Коэффициент ликвидности при мобилизации средств	1,65	2,26	6,8	0,002	0,5-0,7

Анализируя коэффициенты ликвидности за 2011–2014 годы, можно сделать следующий вывод: общий коэффициент ликвидности имеет тенденцию снижения, и только за 2011 год показатель почти достиг своего оптимального значения, что предполагает равенство текущих активов и пассивов. За последующие годы коэффициент не достигает своего рекомендуемого значения, что говорит о том, что не все активы могут быть немедленно реализованы или реализованы по полной стоимости, в результате чего возможна угроза ухудшения финансового состояния предприятия.

Коэффициент абсолютной ликвидности за весь исследуемый период не принимает своего оптимального значения. За 2011 год данный показатель составил 0,7 – это достаточное высокое значение для данного показателя; можно сделать вывод о нерациональном использовании денежных средств, т.к. у предприятия накопился объем денежных средств, не участвующих в производственно-экономическом процессе. В дальнейший период наблюдений значение данного показателя было далеко от нормативного, что говорит о низком уровне ликвидности и платежеспособности, т.е. предприятие не в состоянии покрыть свои обязательства.

Коэффициент срочной ликвидности за 2011 и 2012 годы превышает свое рекомендуемое значение, что говорит о том, что денежные средства и предстоящие поступления от текущей деятельности должны покрывать текущие долги организации. За 2013 и 2014 годы данный показатель практически не изменился и был ниже своего нормативного значения, что говорит о том, что часть краткосрочных обязательств компании не может быть немедленно погашена за счет средств на различных счетах. Предприятию необходимо проводить систематическую работу с дебиторами, чтобы обеспечивать ее преобразование в денежные средства.

Коэффициент ликвидности при мобилизации средств за весь исследуемый период не соответствует своему оптимальному значению. За период 2011–2013 годы данный показатель выше своего рекомендуемого значения, что характеризует высокую степень зависимости платежеспособности предприятия от запасов. К 2014 году ситуация улучшается, так как происходит увеличение запасов, однако показатель все равно не достигает своего оптимального значения.

Таким образом, практически все рассчитанные показатели ликвидности не соответствуют своему рекомендуемому значению, что говорит о низкой ликвидности предприятия. Наглядно рассчитанные показатели представлены на рис. 1.



Рис. 1. Динамика изменения показателей ликвидности предприятия за 2011–2014 годы

Проведен расчет и оценка коэффициентов платежеспособности предприятия (табл.2).

Основные показатели платежеспособности предприятия за 2011–2014 годы

Показатель	Анализируемый период				Рекомендуемое значение
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	
1. Коэффициент общей платежеспособности	1	1	1	1	>2
2. Коэффициент собственной платежеспособности	0,12	-0,004	-0,66	-0,58	>0,1
3. Коэффициент долгосрочной платежеспособности	0,39	0,81	-0,1	0,12	Чем выше значение коэффициента, тем больше задолженность организации и ниже оценка уровня ее долгосрочной платежеспособности
4. Коэффициент восстановления платежеспособности	2,85				>1
5. Коэффициент утраты платежеспособности	2,5				>1

Проанализировав значения коэффициенты платежеспособности, можно сделать выводы о том, что нормативное значение для коэффициента общей платежеспособности должно быть больше 2. Это означает, что актив баланса должен в два и более раз превышать все обязательства предприятия. За весь анализируемый период коэффициент общей платежеспособности был равен единице. Это говорит о том, что предприятие не в состоянии покрыть все имеющиеся у него обязательства. Коэффициент собственной платежеспособности характеризует долю чистого оборотного капитала в краткосрочных обязательствах, т.е. способность предприятия возместить за счет чистых оборотных активов свои краткосрочные долговые обязательства. Нормативное значение данного показателя больше 0,1. Рассчитанный показатель соответствует своему нормативному значению только на начало периода, далее он снижается, что говорит о неспособности предприятия возместить краткосрочные долговые обязательства за счет чистых оборотных активов. Возможность погашения долгосрочных займов характеризует способность компании функционировать длительный период. Коэффициент долгосрочной платежеспособности показывает возможность погашения долгосрочных займов и способность организации функционировать длительное время. Чем выше значение данного показателя, тем больше задолженность предприятия и тем ниже уровень ее платежеспособности. Можно увидеть, что наиболее выгодным положением для этого предприятие обладало в начале исследуемого периода, а концу периода данный коэффициент значительно снижается. Проанализировав коэффициенты восстановления и утраты платежеспособности, мы видим, что в обоих случаях данный показатель превышает единицу. Коэффициент восстановления платежеспособности, имеющий значение больше 1, свидетельствует о наличии тенденции восстановления платежеспособности организации в течение шести месяцев. Коэффициент утраты платежеспособности, имеющий значение больше 1, свидетельствует об отсутствии тенденции утраты платежеспособности.

Таким образом, многие значения коэффициентов платежеспособности находятся вне интервалов своих рекомендуемых значений, так как организация не располагает достаточным объемом оборотных средств для погашения своих обязательств.

Наглядно представим рассчитанные показатели в виде следующего графика (рис. 2).

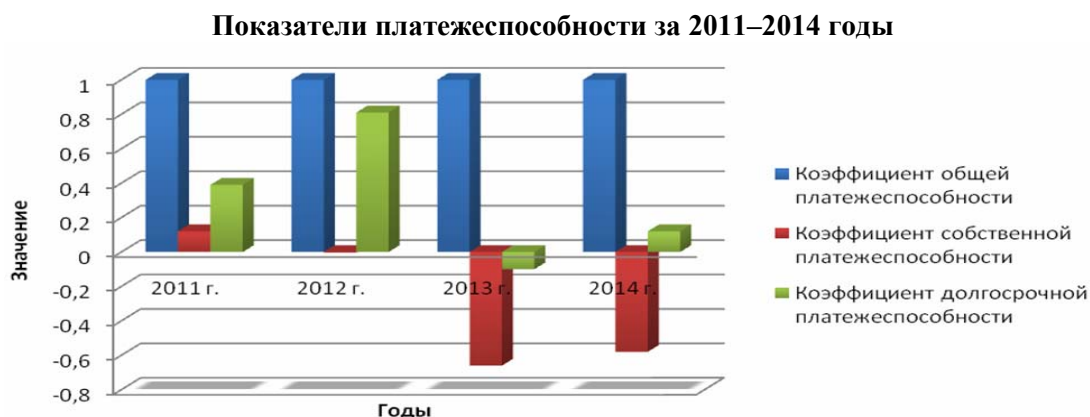


Рис. 2. Динамика изменения показателей платежеспособности предприятия за 2011–2014 годы

Также был проведен расчет коэффициентов финансовой устойчивости, который подтвердил, что предприятие обладает недостаточной финансовой устойчивостью [3] и низкой платёжеспособностью, что может привести к отсутствию средств для развития производства.

Анализируя рентабельность предприятия за 2011–2014 годы, можно сделать вывод о низком значении к концу анализируемого периода такого показателя, как рентабельность продаж (0,77). Низкое значение показателя подтверждает недостаточную возможность предприятия своевременно расплатиться с кредиторами, акционерами и иными партнерами.

В общем виде проведенный анализ ряда показателей финансового состояния показал, что предприятие недостаточно уделяет внимание анализу финансово-хозяйственной деятельности. Предприятию необходимо постоянно проводить анализ с использованием показателей оценки финансового состояния, обращая внимание на снижение и отрицательные значения некоторых коэффициентов, выявлять причины их снижения, разрабатывать меры по их устранению.

Повышение платежеспособности и ликвидности предприятия возможно в первую очередь за счет пополнения собственных средств, сокращения дебиторской задолженности и ускорения оборачиваемости запасов [4].

Также рекомендуется усилить систематическую работу с дебиторами, чтобы обеспечивать ее преобразование в денежные средства, что будет способствовать возрастанию платежных возможностей предприятия и в конечном счете – улучшению финансового потенциала и организационно-экономического потенциала предприятия в целом [5, 6].

Таким образом, анализ финансового состояния организации играет важную роль в повышении эффективности всех сфер деятельности строительного предприятия. Он позволяет прогнозировать финансовые ситуации и оперативно принимать решения для недопущения ситуации, близкой к банкротству.

Список литературы

1. Чечевицына, Л.Н. Анализ финансово-хозяйственной деятельности учебник / Л.Н. Чечевицына, К.В. Чечевицын. – 7-е изд. – Ростов н/Д: Феникс, 2014. – 368 с.
2. Анализ хозяйственной деятельности: учеб. пособие. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 284 с.
3. Учаева, Т.В. Анализ финансовой устойчивости ОАО «Центр-Инвест» / Т.В. Учаева, Ю.В. Кулагина // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №1. – С.132–137.

4. Учаева, Т.В. Повышение эффективности деятельности предприятия промышленности строительных материалов / Т.В. Учаева, О.В. Лонщикова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2016. – №1. – С.37–41.

5. Учаева, Т.В. Анализ финансовой деятельности ЗАО «Нижнеломовский хлебокомбинат» / Т.В. Учаева, К.Ю. Тихонова // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 4. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/52663>.

6. Учаева, Т.В. Повышение финансового потенциала ООО «Строительные материалы» как основа роста организационно-экономического потенциала предприятия / Т.В. Учаева, А.В. Щукарева // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2016. – №1. – С.46–53.

References

1. Chechevitsina, L.N. Analysis of financial activities: textbook / L.N. Chechevitsina, K.V. Chechevitsin. – 7 th ed. – Rostov n / D: Phoenix, 2014. – 368 p.

2. Analysis of economic activity: textbook. Tutorial. – 6 th ed. and lop. – M.: INFRA-M, 2014. – 284 p.

3. Uchaeva, T.V. Analysis of the financial stability of JSC «Center-Invest» / T.V. Uchaeva, Y.V. Kulagina // Regional architecture and engineering. – 2016. – №1. – P.132–137.

4. Uchaeva, T.V. Improving the efficiency of industrial enterprises of building materials / T.V. Uchaeva, O.V. Lonschakova // Vestnik PGUAS: construction, science and education. – 2016. – №1. – P.37–41.

5. Uchaeva, T.V. Analysis of the financial activities of JSC «Nizhnelomovsky Bakery» / T.V. Uchaeva, K.Y. Tikhonova // Modern scientific research and innovation. – 2015. – № 4. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/52663>.

6. Uchaeva, T.V. Increase of financial potential of Ltd Building Materials as a basis of improvement of organizational and economic potential of the enterprise / T.V. Uchaeva, A.V. Shchukareva // Vestnik PGUAS: construction, science and education. – 2016. – №1. – С.46–53.

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

Мусатова Татьяна Евгеньевна,
доцент кафедры «Экономика, организация
и управление производством»
E-mail: ivory678@list.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Musatova Tatiana Evgen'evna,
Associate Professor of the department
«Economy, organization and production
management»
E-mail: ivory678@list.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГРЕССИОННОГО МЕТОДА В ЭКОНОМИЧЕСКОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ СЕЗОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Т.Е. Мусатова

Рассматриваются возможности использования статистических исследований в деятельности дорожно-строительного предприятия. Прогнозирование ее эффективности производится на основе сезонной компоненты посредством аддитивной экономико-математической модели. Предложенный подход позволит предприятию увеличить доходность своей текущей деятельности в перспективе.

Ключевые слова: аддитивность, корреляция, модель, прогноз, регрессия, сезонность, скользящая средняя, тренд

REGRESSION METHOD IN ECONOMIC FORECASTING OF SEASONAL ACTIVITIES OF A ROAD CONSTRUCTION COMPANY

T. E. Musatova

This article discusses the possible use of statistical researches in the activities of a road-building enterprise. Forecasting its effectiveness is based on seasonal component through the addition of economic and mathematical models. The proposed approach allows the company to increase the profitability of its ongoing activities.

Keywords: additive, correlation, model, forecast, regression, seasonality, moving average, trend

Цикличность является эволюционной формой движения природы и общества. В отличие от природных циклов, где смена происходит с объективной неизбежностью и с неизменной продолжительностью в одни и те же сроки, цикличность в социально-экономическом развитии носит менее выраженный и более противоречивый характер [4].

Под сезонными циклическими колебаниями понимаются такие изменения уровней динамических рядов, которые обусловлены временем года. Сезонность как факторное влияние в определенный временной период является постоянной величиной [1]. В тех случаях, когда в прогнозируемых показателях имеется высокая сезонная компонента, возникает необходимость внесения соответствующих корректировок, которые должны обеспечить достоверность прогноза. Для этой цели могут применяться экономико-математические модели со свойствами аддитивности, имеющие следующий вид [6]:

$$A = T + S + E,$$

где A – фактическое значение показателя; T – трендовое значение показателя; S – сезонная вариация; E – ошибка прогноза.

Динамика объемов работ предприятий, занятых строительством и ремонтом автодорог, подвержена влиянию сезонных колебаний, т.к. большая часть дорожно-эксплуатационных работ приходится на весенне-летний период, а меньшая их часть – на осенне-зимний. Этапы деятельности таких предприятий можно представить следующим образом:

1. Подготовительные работы, включающие в себя восстановление и закрепление полосы отвода, ее расчистку, разбивку земляного полотна.
2. Основные работы: устройство дренажных сооружений, возведение насыпей дорожного полотна.
3. Планировочные работы, состоящие из предварительной планировки откосов насыпей и выемок, планирования и выделения резервов.
4. Отделочные работы: устройство присыпных обочин, профилировка и укладка дорожной одежды.
5. Укрепительные работы, к которым относятся: укрепление откосов посевом трав, укладка сборных эмульсий.

Однако в производственном планировании и ресурсном распределении предприятий дорожно-строительной сферы сезонные изменения чаще всего не рассматриваются. В то же время прогноз объёмов их работ, скорректированный с учётом пиков сезонности, позволил бы предприятиям избежать излишних текущих затрат, а возможно, и повысить результативность своей деятельности.

Произведем прогнозирование объёмов дорожно-эксплуатационных работ предприятия на основе аддитивной модели сезонной компоненты (табл. 1). При этом используем метод скользящих средних, который позволяет выравнивать тренд фактических значений объёмов работ через сглаживание сезонных колебаний. Метод скользящих средних является наиболее известным среди методов простой экстраполяции. Его суть заключается в замене фактических уровней динамического ряда расчетными средними, погашающими колебания [1].

Т а б л и ц а 1

Данные о выполнении дорожно-эксплуатационных работ предприятия в ретроспективном периоде (за 12 месяцев)

Месяцы	Объём работ <i>A</i> , тыс. руб.	Итого: за 4 месяца	Скользящая средняя за 4 месяца <i>T</i>	Оценка сезонной компоненты ($A=T+S+E$)
1	2027,10	–	–	–
2	2432,52	10135,50	2533,88	- 101,36
3	2837,94	12162,60	3040,65	- 202,71
4	2837,94	14189,70	3547,43	- 709,49
5	4054,20	16622,22	4155,56	- 101,36
6	4459,62	18649,32	4662,33	- 202,71
7	5270,46	18243,90	4560,98	+ 709,48
8	4865,04	17027,64	4256,91	+ 608,13
9	3648,78	14595,16	3648,79	- 0,01
10	3243,36	11757,18	2939,30	+304,06
11	2837,34	–	–	–
12	2027,10	–	–	–

В целом за анализируемый период объём работ возрос с 2027,1 тыс. руб. (минимальное значение в зимние месяцы) до 5270,46 тыс. руб. (максимальное значение в летние месяцы). Таким образом, в данном динамическом ряду имеются постоянные сезонные колебания. Это указывает на обоснованность применения аддитивной модели. Графа 3 в табл. 1 получена как сумма объёмов работ за четыре месяца с отбрасыванием при вычислении каждого предыдущего месяца и присоединением последующего [5].

Элиминируем влияние сезонной компоненты с помощью скользящих средних. Для этой цели получим среднее арифметическое значение объемов работ за первые четыре месяца. Последовательно продвигаясь вперед с интервалами в четыре месяца, можно получить скользящие средние для всего множества исходных данных (графа 4 табл. 1).

Графическое изображение объемов дорожно-эксплуатационных работ предприятия в течение года свидетельствует, что в ряду динамики присутствует сезонная компонента и её необходимо учитывать (рис. 1).

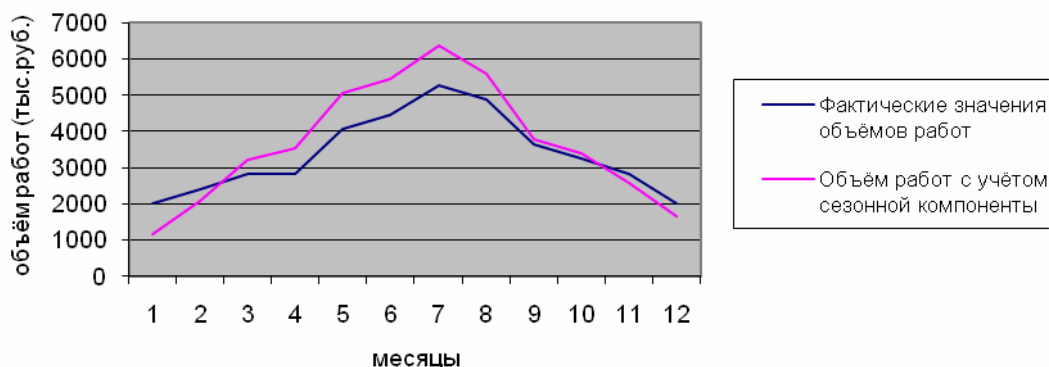


Рис. 1. Динамика объемов дорожно-эксплуатационных работ предприятия по фактическим данным и с учётом сезонной компоненты

Значения сезонных оценок (графа 5 табл. 1) следует усреднить. Расчёт показателей объемов работ предприятия, выполненный при условии учета сезонной компоненты, представлен в табл. 2, а динамика прогнозных значений сезонных объемов работ показана на рис 1.

Т а б л и ц а 2

Скорректированные показатели объемов дорожно-эксплуатационных работ предприятия с учётом сезонной компоненты

Месяцы	Объём работ A , тыс. руб.	Сезонная компонента S	Скорректированный (десезонализированный) объём работ $A-S=T+E$, тыс. руб.
1	2027,10	-861,53	1165,57
2	2432,52	-354,75	2077,77
3	2837,94	+388,18	3226,12
4	2837,94	+692,25	3530,19
5	4054,20	+996,32	5050,52
6	4459,62	+996,32	5455,94
7	5270,46	+1097,67	6368,13
8	4865,04	+709,48	5574,52
9	3648,78	+152,02	3800,8
10	3243,36	+152,05	3395,41
11	2837,94	-253,4	2584,54
12	2027,10	-354,75	1672,35
Итого:	40542	–	43901,86

Погрешность (ошибку) прогноза определим в табл. 3 на основе данных табл. 2.

Расчёт ошибки прогноза объёмов работ при наличии сезонных колебаний

Месяц	Ошибка ($E=A-S-T$)	Квадрат ошибки E^2
1	- 0,6	0,36
2	- 0,9	0,81
3	+ 1,1	1,21
4	+ 1,2	1,44
5	+ 1,3	1,69
6	+ 1,2	1,44
7	+ 1,2	1,44
8	+ 1,2	1,44
9	+ 1,1	1,21
10	+ 1,1	1,21
11	- 0,9	0,81
12	- 0,8	0,64
Сумма	6,2	13,7

Среднее абсолютное отклонение:

$$CAO = \frac{\sum(E_t)}{n} = \frac{6,2}{12} = 0,52.$$

Среднее квадратическое отклонение:

$$CKO = \sqrt{\frac{\sum(E_t)^2}{n}} = \sqrt{\frac{13,7}{12}} = 1,068.$$

Рассматривая порядок исходных значений объёмов работ, ошибку следует считать несущественной [3].

Таким образом, прогнозное значение годового объёма дорожно-эксплуатационных работ для предприятия, полученное на основе сезонных колебаний, составит 43901,86 тыс. руб.

Цепной абсолютной прирост определяется по выражению:

$$\Delta A_{цпр} = \sum A_{прогн} - \sum A = 43901,86 - 40542 = 3359,86.$$

Цепной темп роста:

$$A_{цр} = \frac{\sum A_{прогн}}{\sum A} = \frac{43901,86}{40542} = 1,08 = 108\%.$$

Цепной темп прироста:

$$A_{цпр} = A_{цр} - 100\% = 108\% - 100\% = 8\%.$$

Следовательно, не учитывая влияние факторов сезонности в плановых объёмах дорожно-эксплуатационных работ, предприятие теряет около 8 % дохода ежегодно. Прирост объёмов работ на 3359,86 тыс. руб. в прогнозном периоде обусловлен внесением необходимых корректировок в производственные показатели, обусловленные закономерностями циклического развития процессов, и не требует привлечения дополнительных ресурсов [5].

Далее выполним прогнозирование величины прибыли от реализации дорожно-эксплуатационных работ объекта исследования на основе парного регрессионного анализа. Методы регрессии применяются для определения количественной зависимости между несколькими переменными. Если анализируется влияние одного из показателей (фактора) на некоторый результативный показатель (признак-фактор), то

следует применять модели парного регрессионного анализа [2]. В качестве факторов следует выбирать показатели, отвечающие следующим требованиям:

- а) наличие логической связи с результативным показателем;
- б) количественная измеримость показателя, принятого в качестве фактора;
- в) наличие источников информации для расчёта факторов;
- г) отсутствие функциональной связи между факторами, включенными в модель.

Для прогнозирования прибыли от реализации дорожно-эксплуатационных работ предприятия в качестве фактора, влияющего на результативный показатель, используется себестоимость работ, скорректированная в сторону снижения. При этом распределение себестоимости работ по месяцам осуществляется с учётом сезонной компоненты. Прибыль от реализации работ является признаком-фактором. Уравнение парной регрессии линейного характера имеет общий вид:

$$y = a + bx,$$

где x – фактор (себестоимость работ), влияющий на результативный показатель; y – признак-фактор (прибыль от реализации работ); b – коэффициент регрессии, характеризующий степень влияния x на y ; a – постоянная для данной совокупности исходных данных величина, не зависящая от влияния включенного в анализ фактора x .

Линия регрессии – это линия наибольшего соответствия, проходящая через точки разброса практических значений, расположенных в системе координат. Построим регрессионную парную линейную модель зависимости прибыли дорожно-эксплуатационных работ предприятия от себестоимости работ [2]. Исходные данные и промежуточные расчёты представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Исходные данные и промежуточные расчёты

Месяцы	Прибыль от реализации y , тыс. руб.	Себестоимость x , тыс. руб.	x^2	y^2	$x*y$
1	-908,23	2073,8	4300646,44	824881,73	-1883487,37
2	-410,79	2488,56	6192930,87	168748,42	-1022275,56
3	322,8	2903,32	8429267,02	104199,84	937191,7
4	626,87	2903,32	8429267,02	392965,99	1820004,21
5	902,92	4147,6	17202585,76	815264,53	3744950,99
6	893,58	4562,36	20815128,77	798485,22	4076833,65
7	976,25	5391,88	29072369,93	953064,06	5263822,85
8	597,4	4977,12	24771723,49	356886,76	2973331,49
9	67,96	3732,84	13934094,47	4618,56	253683,81
10	77,33	3318,08	11009654,89	5979,93	256587,13
11	-318,78	2903,32	8429267,02	101620,69	-925520,35
12	-401,45	2073,8	4300646,44	161162,1	-832527,01
Сумма	2425,86	41476	138153582,1	4687877,83	14662595,54
Среднее значение	202,155	3456,33	–	–	–

Прибыль от реализации работ определяется в табл. 4 как разница между объёмом работ в стоимостном выражении с учётом сезонных колебаний, полученном по расчетным данным графы 4 табл. 2 (43901,86 тыс. руб.), и себестоимостью работ, скорректированной по сезонной компоненте, при условии её снижения к уровню предыдущего года (41476 тыс. руб.). Таким образом, цепной абсолютный прирост прибыли от реализации (тыс. руб.) с учетом убытков предыдущего периода для предприятия может составить

$$\Delta\Pi_{p,c} = \sum \Pi_{p,прогн} - \sum \Pi_p = 2425,86 - (-5696) = 8121,86.$$

Параметры уравнения регрессии определяются по следующим формулам:

$$b = \frac{n \cdot \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2};$$

$$a = \frac{\sum y}{n} - \frac{b \cdot \sum x}{n},$$

где n – объём выборочной совокупности ($n=12$ месяцев)/

$$b = \frac{12 \cdot 14662595,54 - 41476 \cdot 2425,86}{12 \cdot 138153582,1 - (41476)^2} = -1,207;$$

$$a = \frac{2425,86}{12} - \frac{(-1,207) \cdot 41476}{12} = 4373,95.$$

Полученное уравнение регрессии имеет вид:

$$y = 4373,95 - 1,207 \cdot x.$$

Коэффициент регрессии $b = -1,207$ отрицателен, что свидетельствует об обратной связи между x и y : чем больше себестоимость работ, тем меньше прибыль от их реализации. Количественное значение 1,207 означает, что с изменением себестоимости работ на 1 тыс. руб. прибыль от реализации работ изменится на 1,207 тыс. руб.

Насколько достоверно уравнение отражает реальную картину линейности полученной зависимости, можно определить с помощью линейного коэффициента корреляции К. Пирсона:

$$r = \frac{n \cdot \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2}} = \frac{12 \cdot 14662595,54 - 41476 \cdot 2425,86}{\sqrt{12 \cdot 138153582,1 - (41476)^2} \cdot \sqrt{12 \cdot 4687877,83 - (2425,86)^2}} = -0,957.$$

Значение коэффициента корреляции может изменяться в пределах от -1 до $+1$. Чем ближе его абсолютное значение к 1, тем теснее связь между показателями. В нашем случае $r = -0,957$, т.е. связь между показателями прибыли от реализации работ и их себестоимостью является обратной и достаточно тесной.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют, что использование методов построения экономических прогнозов в производственно-финансовой деятельности дорожно-строительных предприятий позволит повысить показатели доходности в течение периода планирования.

Список литературы

1. Лапыгин, Ю.Н. Экономическое прогнозирование: учеб. пособие / Ю.Н. Лапыгин, В.Е. Крылов, А.П. Чернявский. – М.: Эксмо, 2009. – 256 с.
2. Мусатова, Т.Е. Экономическое прогнозирование инновационной деятельности строительных предприятий / Т.Е. Мусатова, Д.О. Желиховский // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – URL: <http://www.science-education.ru/121-19515> (дата обращения: 04.06.2015).
3. Мусатова, Т.Е. Возможности использования методов экономико-математического моделирования в стратегической деятельности предприятий / Т.Е. Мусатова, Я.В. Киритова // Современные научные исследования и инновации – 2015. – № 3. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/49343> (дата обращения: 12.03.2015).

4. Мусатова, Т.Е. Эволюция технологических и экономических волновых укладов / Т.Е. Мусатова, А.Н. Усатенко // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – URL: www.science-education.ru/121-17112 (дата обращения: 23.01.2015).
5. Мусатова, Т.Е. Прогнозирование объемов дорожно-эксплуатационных работ предприятия на основе сезонных колебаний / Т.Е. Мусатова // Актуальные проблемы экономики и управления предприятием в современных рыночных условиях: материалы конференции РАЕ. – URL: <http://econf.rae.ru/article/9582> (дата обращения: 06.11.2015)
6. Симионова, Н.Е. Оценка бизнеса: теория и практика: учеб. пособие / Н.Е. Симионова, Р.Ю. Симионов. – Ростов н /Д.: Феникс, 2007. – 576 с.

References

1. Lapygin, Y.N. Economic forecasting: tutorial / Y.N. Lapygin, V.E. Krylov, A.P. Cherniavsky. – М.: Eksmo, 2009. – 256 p.
2. Musatova, T.E. Economic forecasting of innovative activity of the building enterprises / T.E. Musatova, D.O. Zhelikhovsky // Modern problems of science and education. – 2015. – №1. – URL: <http://www.science-education.ru/121-19515> (reference date: 04. 06. 2015).
3. Musatova, T.E. Possibilities of use of economic-mathematical modeling methods in strategic activities of enterprises / T.E. Musatova, Y.V. Kiritova // Modern scientific research and innovation – 2015. – № 3. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/49343> (reference date: 12. 03. 2015).
4. Musatova, T.E. Evolution of technological and economic wave orders / T.E. Musatova, A.N. Usatenko // Modern problems of science and education. – 2015. – №1. – URL: www.science-education.ru/121-17112(reference date: 23.01.2015).
5. Musatova T.E. Estimates of road maintenance activities on a seasonally adjusted basis / T.E. Musatova // Actual problems of economy and business management in today's market conditions: material of conference RAE. – URL: <http://econf.rae.ru/article/9582> (reference date: 06.11.2015).
6. Simionova, N.E. Business valuation: theory and practice: tutorial / N.E. Simionova, R.Y. Simionov. – Rostov-on-Don: Phoenix, 2007. – 576 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

Усатенко Анна Николаевна,
старший преподаватель кафедры
«Экономика, организация и управление
производством»
E-mail: Usatenkoan@yandex.ru.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Usatenko Anna Nikolaevna,
senior lecturer of the department «Economics,
Organization and Management»
E-mail: Usatenkoan@yandex.ru.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ С ПОМОЩЬЮ SWOT-АНАЛИЗА (НА ПРИМЕРЕ ООО «АРМСТРОЙ», Г.МОСКВА)

А.Н. Усатенко

Обозначена актуальность применения swot-анализа на строительном предприятии. Перечислены основные экономические категории, включаемые в swot-анализ, определены факторы внешней и внутренней среды предприятия. Проведен swot-анализ на строительном предприятии, даны рекомендации по повышению эффективности деятельности ООО «Армстрой».

Ключевые слова: деятельность предприятия, повышение эффективности деятельности, swot-анализ, внешняя среда, внутренняя среда

INCREASE IN EFFICIENCY OF ENTERPRISE ACTIVITIES BY SWOT-ANALYSIS (ON THE EXAMPLE OF LTD ARMSTROI, MOSCOW)

A.N. Usatenko

Relevant application at swot-analysis at a construction company is presented. Main economic categories included in the swot-analysis are given, factors of external and internal environment of an enterprise are defined. Swot-analysis of the construction company «ArmStroi» is carried out, recommendations for improving the efficiency of the company are given.

Keywords: activities of the company, increasing the efficiency of, swot-analysis, external environment, internal environment

В условиях жесткой конкуренции и ограниченности ресурсов в строительстве существует острая необходимость быстрого реагирования на изменения факторов внешней и внутренней среды с целью повышения эффективности деятельности. Эффективность деятельности предприятия характеризуется прежде всего высокими показателями актива бухгалтерского баланса: стоимости имущества предприятия, величины внеоборотных активов, стоимости оборотных активов.

Объектом исследования является ООО «АРМСТРОЙ» – московская строительная организация, созданная в мае 2008 года. Основным видом деятельности предприятия является производство общестроительных работ. Дополнительные виды деятельности:

- разборка и снос зданий;
- производство земляных работ;
- разведочное бурение;
- устройство покрытий зданий и сооружений;
- производство прочих строительных работ;
- производство электромонтажных работ;

- монтаж прочего инженерного оборудования;
- производство столярных и плотничных работ;
- устройство покрытий полов и облицовка стен;
- производство малярных и стекольных работ;
- производство прочих отделочных и завершающих работ.

В состав ООО «АРМСТРОЙ» входят комплексные и специализированные бригады. На местах работают производители работ и мастера.

В табл. 1 представлен состав и структура актива баланса ООО «АРМСТРОЙ» за 2012–2014 годы.

Т а б л и ц а 1

Состав и структура актива бухгалтерского баланса ООО «АРМСТРОЙ»
за 2012–2014 годы

Показатель	2012 г.		2013 г.		2014 г.		Абсол. откл., тыс. руб.		Темп роста, %	
	тыс. руб.	% к итогу	тыс. руб.	% к итогу	тыс. руб.	% к итогу	2012-2013 гг.	2013-2014 гг.	2012-2013 гг.	2013-2014 гг.
1. Внеоборотные активы	7	0,25	1	0,05	-	-	-6	-1	-85,7	100
2. Оборотные активы – всего, в том числе:	2763	99,7	1997	99,9	1950	100	-766	-47	-27,7	-2,4
2.1. Запасы	146	5,3	203	10,2	204	10,46	57	1	39	0,4
2.2. НДС	20	0,7	52	2,6	52	2,7	32	0	в 2,6 раза	0
2.3. Дебиторская задолженность	1071	38,7	1698	84,9	1652	84,7	627	-46	58,5	-2,7
2.4. Денежные средства и денежные эквиваленты	1526	55,09	44	2,2	41	2,1	-1481	-3	-97	-7
Итого активов	2770	100	1998	100	1950	100	-772	-48	-28	-2,4

Как видно из данных табл.1, наблюдается уменьшение стоимости имущества предприятия на 772 тыс. руб в 2013 году и на 48 тыс. руб в 2014 году, о чем свидетельствует уменьшение стоимости оборотных средств на 766 тыс. руб в 2013 году и на 47 тыс. руб в 2014 году.

Для более полной оценки деятельности ООО «АРМСТРОЙ» следует провести анализ состава и структуры пассива баланса. Главными показателями, характеризующими финансово-экономическое состояние предприятия, являются: стоимость собственного капитала предприятия, величина заемного капитала, долгосрочные заемные средства, краткосрочные заемные средства, кредиторская задолженность. Данные пассивной части баланса ООО «АРМСТРОЙ» за 201–2014 годы представлены в табл. 2.

Как видим, прирост собственного капитала в 2013 году составил 3,2 %, а в 2014 году – 0,2 %, т.е. наблюдается отрицательная динамика в формировании собственного капитала. Долгосрочные обязательства в 2012–2014 годах состояли только из заемных средств, в 2013 году они возросли в 2 раза, в 2014 году их стоимость осталась неизменной.

Состав и структура пассива бухгалтерского баланса ООО «АРМСТРОЙ» за 2012–2014 годы

Показатель	2012 г.		2013 г.		2014 г.		Абсол. откл., тыс. руб.		Темп роста, %	
	тыс. руб.	% к итогу	тыс. руб.	% к итогу	тыс. руб.	% к итогу	2012-2013 гг.	2013-2014 гг.	2012-2013 гг.	2013-2014 гг.
1. Капитал и резервы, в том числе:	398	14,4	411	20,57	412	21,12	13	1	3,2	0,2
1.1. Уставный капитал	10	0,4	10	0,5	10	0,51	-	-	-	-
1.2. Нераспределенная прибыль (непокрытый убыток)	388	14	401	20,07	402	20,6	13	1	3,4	0,2
2. Долгосрочные обязательства	29	1	58	2,9	58	2,9	29	-	в 2 раза	-
2.1. Заемные средства	29	1	58	2,9	58	2,9	29	-	в 2 раза	-
3. Краткосрочные обязательства	2343	84,5	1529	76,5	1479	75,8	-814	-50	-34,7	-3,3
3.1. Кредиторская задолженность	2343	84,5	1529	76,5	1479	75,8	-814	-50	-34,7	-3,3
Итого пассивов	2770	100	1998	100	1950	100	-772	-48	-28	-2,4

В целом наблюдается низкая автономия предприятия (низкий удельный вес собственного капитала) и высокая степень использования заемных средств.

Анализ динамики показателей актива и пассива бухгалтерского баланса позволяет сделать вывод о необходимости повышения эффективности деятельности ООО «АРМСТРОЙ». Разработка основных направлений стратегического развития для повышения эффективности деятельности возможно с помощью SWOT-анализа. Он позволяет оценить влияние внешних и внутренних факторов на развитие предприятия.

К сильным сторонам организации следует отнести:

- наличие и поддержку необходимых технологий;
- широкую номенклатуру проводимых работ;
- наличие специализированных лицензий;
- высокую квалификацию рабочих-профессионалов;
- возможность проведения монтажных и пусконаладочных работ.

Слабые стороны организации представлены следующими показателями:

- нехваткой финансовых ресурсов;
- недостаточным развитием службы маркетинга;
- нехваткой заказчиков;
- большим числом конкурентов;
- кадровыми проблемами.

Возможности ООО «Армстрой»:

- увеличение объема выполненных работ в связи с ростом потребности на них;
- выход на новые рынки или сегменты рынка;
- реструктуризация долгов в бюджет на долгосрочный период;
- возможность предоставления комплекса товаров и услуг.

Угрозами являются следующие факторы:

- снижение доли на рынке;
- уход специалистов;
- банкротство.

Матрица SWOT-анализа ООО «АРМСТРОЙ» представлена на рис. 1.

1. Сильные стороны	3. Возможности
1.1 Наличие и поддержка необходимых технологий 1.2 Широкая номенклатура проводимых работ 1.3 Наличие специализированных лицензий 1.4 Высокая квалификация рабочих профессионалов 1.5 Возможность проведения монтажных и пусконаладочных работ	3.1 Увеличение объема работ в связи с ростом потребности на них 3.2 Выход на новые рынки или сегменты рынка 3.3 Реструктуризация долгов в бюджет на долгосрочный период 3.4 Возможность предоставления комплекса товаров и услуг
2. Слабые стороны	4. Угрозы
2.1 Нехватка финансовых ресурсов 2.2 Недостаточное развитие службы маркетинга 2.3 Нехватка заказчиков 2.4 Большое число конкурентов 2.5 Кадровые проблемы	4.1 Снижение доли на рынке 4.2 Уход специалистов 4.3 Банкротство

Рис. 1. SWOT-анализ ООО «АРМСТРОЙ»

Матрица SWOT-анализа ООО «Армстрой» иллюстрирует следующее:

- на предприятии существует возможность проведения монтажных и пусконаладочных работ, что приведет к увеличению объема работ;
- широкая номенклатура проводимых работ позволит выйти на новые сегменты рынка.

На рис. 2 представлено проблемное поле, сформированное в рамках SWOT-матрицы.

Поле СИВ					Поле СИУ			
1.1	3.1	3.2		3.4	1.1			
1.2		3.2			1.2	4.1		
1.3		3.2	3.3		1.3			
1.4		3.2		3.4	1.4			
1.5	3.1			3.4	1.5		4.2	
Поле СЛВ					Поле СЛУ			
2.1		3.2	3.3		2.1	4.1	4.2	4.3
2.2		3.2		3.4	2.2	4.1		
2.3				3.4	2.3	4.1		4.3
2.4		3.2		3.4	2.4	4.1		
2.5					2.5		4.2	

Рис. 2. Проблемное поле, сформированное в рамках SWOT-матрицы

Поле СИУ показывает, что широкая номенклатура проводимых работ позволит избежать снижения доли на рынке, а возможность проведения монтажных и пусконаладочных работ решит проблему уход специалистов, создав дополнительные рабочие места.

Поле СЛВ иллюстрирует, что за счет выхода на новые сегменты рынка и реструктуризации долгов в бюджет на долгосрочный период ООО «АРМСТРОЙ» сможет преодолеть имеющуюся слабость в виде нехватки финансовых ресурсов. Проведение реструктуризации долгов на долгосрочный период в ближайшее время позволит организации уменьшить отток денежных средств. Следовательно, предприятие сможет выделить больше денежных средств на укрепление сильных сторон и развитие других возможностей.

Также деятельность ООО «Армстрой» характеризуется недостаточным развитием службы маркетинга. Решается данная проблема путем обучения сотрудников маркетингу с последующим созданием отдела маркетинга. Основными задачами, которыми следует заниматься отделу маркетинга, является определение приоритетных направлений развития производства, координация взаимодействия производства и службы сбыта по разработке новых видов продукции и выводу их в новые сегменты рынка.

Самые ярко выраженные слабые стороны данной организации имеют взаимосвязанный характер. Проблема нехватки денежных средств может быть решена за счет реструктуризации долгов. Если будет решена данная проблема, значит, можно будет выделить необходимое количество средств на развитие службы маркетинга. Хороша развитая служба маркетинга будет способствовать привлечению большего числа заказчиков.

Таким образом, тщательное изучение внешней среды может открыть для предприятия новые направления развития, а выявленные сильные и слабые стороны помогут определить имеющиеся ресурсы предприятия или уровень отставания по каким-либо критериям от конкурентов.

Список литературы

1. Березин, И.С. Маркетинговый анализ. Рынок. Фирма. Товар. Продвижение / И.С. Березин. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Вершина, 2008. – 480 с.
2. Токарев, В. Применение SWOT-анализа при разработке стратегии фирмы / В. Токарев // Управление компанией. – 2008. – №3. – С. 18–20.
3. Уилсон, Р.Ф. Планирование стратегии Интернет-маркетинга / Ральф Ф. Уилсон – М.: Издательский Дом Гребенникова, 2003. – 264 с.
4. Чилимбаева, Г.А. SWOT-анализ – выявление и решение возможных проблем в процессе / Г.А. Чилимбаева // Молодой ученый. – 2014. – №8. – С. 33–35.

References

1. Berezin, I.S. Marketing analysis. Market. Firm. Product. Promotion / I.S. Berezin. – 3rd ed. – M.: Vertex, 2008. – 480 p.
2. Tokarev, V. Application of the SWOT-analysis in the development of the company's strategy / V. Tokarev // Management of the company. – 2008. – №3 – P. 18–20.
3. Wilson, R.F. Planning Internet Marketing Strategies / Ralph F. Wilson – M.: Publishing House of Grebennikov, 2003. – 264 p.
4. Chilimbaeva, G.A. SWOT-analysis – identifying and resolving possible problems in the process / G.A. Chilimbaeva // Young scientist. – 2014. – №8. – P. 33–35.