



eISSN 2311-2468
Том 5, № 11. 2017
Vol. 5, no. 11. 2017

электронное периодическое издание
для студентов и аспирантов

Огарёв-онлайн Ogarev-online

<https://journal.mrsu.ru>



ТЕРЕШКИН И. П., РУМЯНЦЕВ А. В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
И ХИМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ
ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ С СУЛЬФАТНО-СИЛИКАТНОЙ ДОБАВКОЙ

Аннотация. Представлены результаты исследований по влиянию сульфатно-силикатной добавки на физико-механические свойства и химическое сопротивление композитов на основе цементных вяжущих. Показана возможность получения на основе цеолитосодержащей породы добавки, позволяющей повышать прочность композитов в процессе твердения.

Ключевые слова: сульфатно-силикатный продукт, сульфатно-силикатная добавка, цеолитосодержащая порода, цемент, бетоны, модификация, прочность.

TERESHKIN I. P., RUMYANTSEV A. V.
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND CHEMICAL
RESISTANCE OF COMPOSITES BASED ON CEMENT BINDERS
AND SULFATE-SILICATE ADDITIVE: AN EXPERIMENTAL STUDY

Abstract. The article provides the test results the effect of sulfate-silicate additive on the physical and mechanical properties and chemical resistance of composites based on cement binders. The tests show a possibility of obtaining an additive based on zeolite-containing rock, which increases the strength of composites at hardening.

Keywords: sulfate-silicate product, sulfate-silicate additive, zeolite-containing rock, cement, concrete, modification, strength.

Современные технологии получения строительных изделий и конструкций на основе цементных бетонов предъявляют постоянно увеличивающиеся требования к сырьевым составляющим бетонов, обеспечивающим: получение самоуплотняющихся, готовых к применению бетонных смесей, позволяющих получать бетонные композиты требуемой прочности в заданные сроки твердения; снижение энергоемкости технологии бетона при одновременном повышении его качества и долговечности; повышение несущей способности и эксплуатационной надежности строительных конструкций на их основе и т. д. [1; 2].

Бетоны, как известно, представляют собой строительные конгломераты, которые получают при совмещении минеральных, органических и комплексных вяжущих с гранулированными заполнителями, изначально образующие готовую к применению бетонную смесь, затем – каменный материал. Заданные состав и свойства бетонной смеси (в последующем бетонного композита) могут быть обеспечены только при стабильном

зерновом составе исходных заполнителей, гарантированного качества вяжущего вещества и комплексной модификацией сырьевых смесей.

В данной работе были проведены исследования влияния сульфатно-силикатной добавки (ССД) на основе цеолитосодержащей породы, полученной по запатентованной технологии [1], на основные физико-механические свойства цементных композитов. Добавку получали путем обжига сырьевой смеси, состоящей из цеолитсодержащей породы Атяшевского месторождения, серной кислоты и воды [1; 2]. При этом цеолитсодержащая порода Атяшевского месторождения имела следующий состав, мас. %: SiO_2 – 70.87÷58.66, Al_2O_3 – 8.98÷12.34, Fe_2O_3 – 4.37÷6.24, CaO – 10.64 ÷ 14.51, MgO – 1.84÷2.14, K_2O – 2.48÷3.05, TiO_2 – 0.48÷1.65, Na_2O – 0.2÷0.85, F_2O_3 – 0.14÷0.56.

Соотношения компонентов сырьевой смеси для сульфатно-силикатного продукта, мас. %: цеолитсодержащая порода – 40–50; концентрированная серная кислота – 35–40; вода – остальное.

Обжиг сырьевой смеси осуществляли при температуре близкой к 500 °C в течение 40 минут.

Получение добавки (продукта) для цементных вяжущих осуществляли следующим образом: вначале готовили сырьевую смесь – цеолитсодержащую породу размельчали и увлажняли водой. Затем в полученную смесь вводили концентрированную серную кислоту. По истечении одних суток, необходимых для окончания протекания химических реакций, сырьевую смесь подвергали термической обработке при температуре 480÷500 °C в течение 40÷50 минут. После обжига полученный сульфатно-силикатный продукт (сульфатно-силикатная добавка) охлаждали, размалывали и вводили в цементное вяжущее.

В состав получаемого сульфатно-силикатного продукта (ССП) входят реакционноспособные к минералам цемента вещества, позволяющие значительно ускорять гидратацию составляющих цемента и повышать прочность цементных композитов с такой добавкой [1; 2].

Для изучения влияния сульфатно-силикатного продукта на механические и физические свойства цементных композиций были исследованы механические характеристики наполненных композитов и характеристики структуры их порового пространства. Наполняли цементные композиции сульфатно-силикатной добавкой (ССД) в количестве 5 и 9% от массы вяжущего. Водоцементное отношение составляло 0,28. Испытания образцов композиций проводились в возрасте 28 суток после нормального твердения. Результаты определения механических свойств композиций с добавкой приведены в таблице 1. Данные, характеризующие структуру пор цементного камня, представлены в таблице 2.

Таблица 1

Физико-механические характеристики композиций

№	Свойство, единица измерения	Композиции без наполнения	Композиции, наполненные ССП в количестве 5%	Композиции, наполненные ССП в количестве 9%
1	Твердость, Т, МПа	154,44	176,94	180,58
2	Модуль деформации, E_{15} , МПа	2357,84	2863,46	2952,28
3	Равновесный модуль упругости, E_y , МПа	22080,35	27634,48	326332,02
4	Условно-мгновенный модуль упругости, E_0 , МПа	24106,71	30282,17	33405,83
5	Доля упругой составляющей в общей деформации, ϵ_y	0,1166863	0,1038918	0,0943891
6	Доля высокоэластичной составляющей деформации, $\epsilon_{вэ}$	0,0056819	0,0048193	0,0043989
7	Доля пластической составляющей деформации, $\epsilon_{пл}$	0,8776318	0,8912889	0,901212
8	Предельная деформация разрушения, $\epsilon_{пр}$	0,01753	0,01653	0,016362
9	Предельная пластическая деформация материала, $\epsilon_{пл.пр}$, МПа·с	0,01562	0,01403	0,01391
10	Коэффициент структуры, $K_{стр.}$	15,61	27,94	24,51
11	Коэффициент энергоемкости материала, $K_{эн}$, Дж/м ³	0,7242	0,892	0,791
12	Коэффициент пластичности, $K_{пл}$	0,0769	0,0753	0,0753
13	Прочность при сжатии, $R_{сж}$, МПа	41,31	47,33	48,31

По величине значений твердости и равновесного модуля упругости цементные композиции с сульфатно-силикатной добавкой можно отнести к группе твердых и жестких материалов. Диаграммы сжатия исследуемых композиций, представленные на рисунке 1, и данные, приведенные в таблице 1, показывают, что модуль упругости композиций с добавкой повышается на 30%. По значениям деформационных характеристик, состоящих из упругой, высокоэластичной и пластической составляющих, видно, что у наполненных композиций основными являются пластические, то есть необратимые деформации. Упругое последствие при этом практически отсутствует. Значения предельной деформации разрушения при напряжениях сжатия и предельной пластической деформации позволяют отнести исследуемые композиции к хрупким и непластичным материалам. Подобный вывод подтверждают величины коэффициента пластичности таких композитов.

Таблица 2

Характеристики поровой структуры цементных композиций

№	Свойство, единица измерения	Композиции без наполнения	Композиции, наполненные ССП в количестве 5%	Композиции, наполненные ССП в количестве 9%
1	Водопоглощение по массе, W_b , %	13,91	15,6	19,13
2	Объемное водопоглощение, W_0 %	28,81	28,35	31,86
3	Равновесное поглощение, W_p %	8,37	12,92	16,76
4	Истинная пористость, Π_i %	29,02	35,34	39,28
5	Коэффициент микропористости, K_m	0,607	0,956	0,981
6	Показатель среднего размера пор, λ_2	2,445	2,204	3,352
7	Однородность пор по размерам, α	0,551	0,654	0,691

По энергоемкости цементные композиции с сульфатно-силикатной добавкой относятся к среднеэнергоемким и обладают достаточно развитой пространственной структурой. Наполнение композиций ускорителем твердения способствует повышению коэффициента энергоёмкости до 25%, что обуславливает их более высокую прочность (см. табл. 1 и рис. 1).

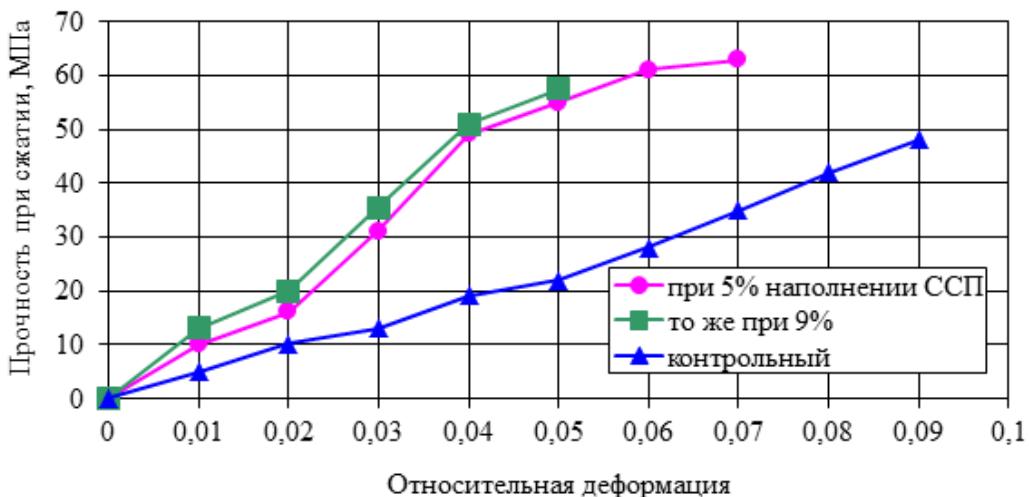


Рис. 1. Зависимость относительных деформаций цементных композитов от напряжений сжатия.

Коэффициент структуры цементных композиций с ССП выше, чем у ненаполненных цементных композиций, почти в два раза. Это может свидетельствовать о более оптимальной организации их поровой структуры. Вместе с тем, наполнение композиций сульфатно-силикатной добавкой приводит к увеличению их водопоглощения и истинной пористости. Увеличение показателей этих характеристик происходит тем значительней, чем выше содержание в цементном вяжущем сульфатно-силикатного наполнителя. Значения коэффициента микропористости и показатель дифференциации пор по размерам таких композитов свидетельствуют о преобладании в поровой структуре цементного камня на

основе композиции с ССП, преимущественно, большего количества микропор и повышении степени их однородности. Однако величина замкнутых пор в них при этом снижается, что может способствовать повышению проницаемости композитов, приводя к снижению химической стойкости, что подтверждается результатами экспонирования в растворе 2%-ной серной кислоты (см. рис. 2, 3). Поэтому в комплексе с разработанной добавкой при изготовлении высокопрочного цементного композита необходимо применять поверхностноактивные вещества – пластификаторы, способствующие снижению водопотребности сырьевых смесей и повышению плотности цементных композитов. Такой подход будет способствовать большему раскрытию потенциала использования разработанного сульфатносиликатного продукта в цементных системах.

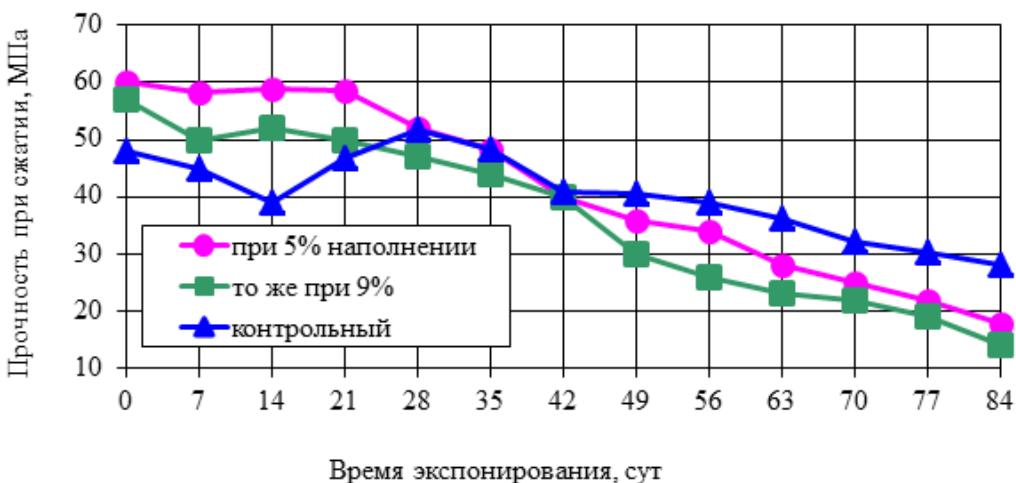


Рис. 2. Влияние сульфатно-силикатной добавки на прочность цементных композиций при экспонировании в 2%-ном растворе серной кислоты.

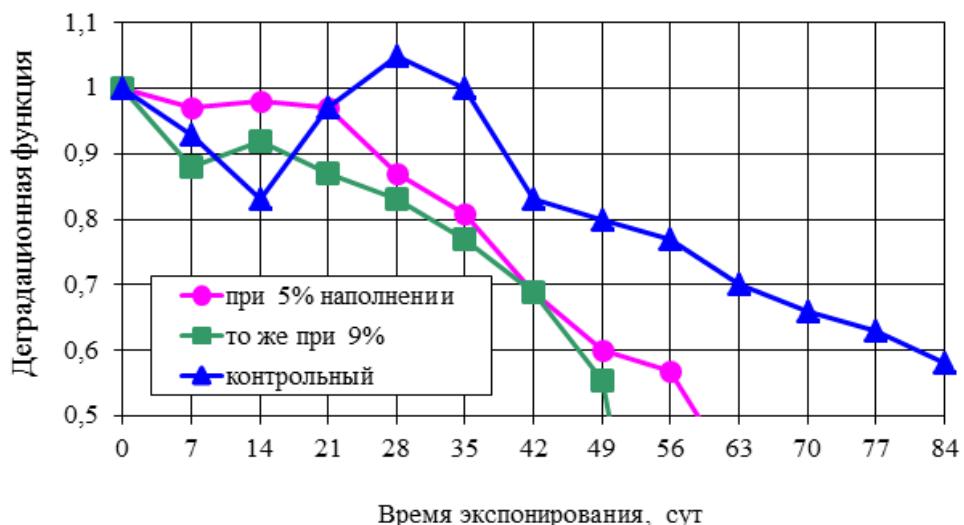


Рис. 3. Химическое сопротивление цементных композиций с сульфатно-силикатной добавкой (среда выдерживания – 2%-ный раствор серной кислоты).

На заключительном этапе исследований по оптимизации цементных композиций с ССД были получены математические модели прочности и пористости цементного камня, которые позволили определить оптимальный состав модифицированного полиминерального вяжущего (МПВ): портландцементный клинкер (90%), добавка-ССД (7,5%), пластификатор (1,1%), остальное – гипсовый камень. Оптимальная тонкость помола комплексного цементного вяжущего составляла 10–12%, что соответствовало рядовой промышленной тонкости помола. Было проведено сравнение свойств композиций на основе МПВ оптимального состава и цементной композиции на основе портландцемента ЦЕМ I 42,5Н. В результате было установлено снижение водотвердого отношения до 20%. Прочность при сжатии исследуемых композиций на основе комплексного вяжущего составила на 30% больше прочности контрольных образцов. Доказано, что введение сульфатно-силикатной добавки в минеральные цементные вяжущие открывает новые возможности в получении высокопрочных композитов с нормируемой суточной прочностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терешкин И. П. Разработка вяжущих низкой водопотребности для стендовых технологий: дисс. ...канд. тех. наук. – Саранск, 2001. – 244 с.
2. Кильдеев И. Р., Панчина А. А., Терешкин И. П. Эффективная добавка для цементных сырьевых смесей на основе природных цеолитосодержащих пород Республики Мордовия [Электронный ресурс] // Огарев-online. – 2016. – №5. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/effektivnaya-dobavka-dlya-cementnyx-syrevyx-smesej-na-osnove-prirodnyx-ceolitosoderzhshix-porod-respubliki-mordoviya>.

КИСЕЛЕВ Н. Н., ДОЛГОВ И. П., АХМЕДОВ С. И.
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОБОЛОЧЕК
ВАКУУМИРОВАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ

Аннотация. Проведен анализ оболочек вакуумных теплоизоляционных панелей. Указаны преимущества и недостатки упаковочных материалов, применяемых для вакуумной теплоизоляции. Рассмотрены преимущества вакуумированных теплоизоляционных панелей и их использование.

Ключевые слова: теплопроводность, микрокремнезем, вакуумированная плита, наполнитель, оболочка, конструкция, панель, теплоизоляционный материал.

KISELEV N. N., DOLGOV I. P., AKHMEDOV S. I.

NEW MATERIALS FOR SHELLS OF VACUUM INSULATION PANELS

Abstract. The article presents an analysis of the shells of vacuum insulating panels. The advantages and disadvantages of packaging materials used for vacuum insulation are studied. The advantages of vacuum insulation panels and their use are considered.

Keywords: thermal conductivity, microsilica, vacuum plate, filler, shell, structure, panel, insulating material.

Вакуумированные теплоизоляционные материалы являются современным и эффективным видом теплоизоляции. Данная технология основывается на том, что вакуум, создающийся в оболочке теплоизоляционного элемента, позволяет существенно снизить теплопроводность материала. Использование подобных материалов заметно снижает пространство, занимаемое утеплителем, что дает увеличить полезную площадь помещения и возможность устраивать теплоизоляцию в ограниченном для утеплителя пространстве.

Долгое время главной проблемой вакуумной теплоизоляции была сложность обеспечения сохранности вакуума на длительный период и, как следствие, малый срок службы изделий. Это значительно ограничивало область применения данного вида теплоизоляции. С развитием упаковочной промышленности эта проблема стала вполне решаемой. Получение новых материалов с высокими барьерными свойствами и усовершенствование технологий в сфере высокого вакуума сделало возможным широкое использования вакуумных изоляционных панелей (ВИП) в машиностроении, криогенной технике, строительстве, оборонной промышленности [1–4].

К оболочке вакуумной теплоизоляции предъявляются высокие требования. Она должна обладать исключительными барьерными свойствами, высокой механической прочностью, УФ стабильностью, способностью к свариванию. Такое разнообразие

необходимых свойств делает невозможным применение однослойных упаковочных материалов. Более подходящими для производства оболочек вакуумной теплоизоляции являются многослойные материалы.

В настоящее время выпускается большое количество высокобарьерных упаковочных материалов. Главным недостатком таких пленок является чрезвычайно высокая цена, поскольку для обеспечения нужных характеристик требуется относительно толстые слои или несколько дорогостоящих барьерных слоев. Кроме того, механические свойства не всегда могут отвечать эксплуатационным требованиям. Более современной и экономичной технологией в упаковочной промышленности являются пленки с высокой поверхностной энергией для последующего нанесения органических, керамических или металлических барьерных покрытий. В данном случае высокую поверхностную активность обеспечивает верхний тонкий слой этиленвинилового спирта (EVOH) или полиамида (PA). Подобные материалы с успехом могут заменить более дорогую алюминиевую фольгу в качестве барьерного материала. Сравнение широко применяемых полимерных пленок приведено в таблице 1.

Таблица 1
Сравнение барьерных характеристик полимерных пленок

Материал	Коэффициент паропроницаемости (г/м ² за 24 часа при 90% относительной влажности и температуре 38°C)	Коэффициент пропускания по кислороду ($\frac{\text{см}^3}{\text{м}^2}$ за 24 часа при температуре 23°C)
PE-LD	15-20	3000-13000
PE-HD	3-12	500-3000
PP ориентированный	5	2400
PP неориентированный	8-10	1000-6000
PVDC	1-5	1-3
EVOH	15-50	0,2-2,5
PA	150	30-100
PET	15-30	50-150
Полистирол	120	2500-7700

Многослойные полимерные пленки в последнее время заняли ведущие позиции в современной упаковочной промышленности. Используя несколько слоев разных полимеров (PP, PE, PA, PET и др.), можно сочетать механические характеристики одного материала и барьерные другого для получения необходимого результата. Многослойная пленка обычно включает в себя структурные и барьерные слои, которые скрепляются между собой при помощи клея, термической сварки, методом соэкструзии. Для производства оболочек ВИП панелей разумно использовать материалы, состоящие из трех и более слоев, так как к каждому слою предъявляются особые требования [5].

Наружный слой должен обеспечивать высокую механическую прочность, обладать УФ стабильностью, а также иметь температуру плавления выше, чем у сварного слоя. Под это описание попадает полиэтилентерефталат (ПЭТФ или лавсан). Его прочность превосходит показатель полиэтилена в три раза. Лавсан обладает хорошей устойчивостью к истиранию и многократным деформациям при растяжении и изгибе, низкой гигроскопичностью. Рабочая температура от -60 до 170 °C, размягчение начинается при достижении 245 °C. ПЭТФ невосприимчив к действию растворов кислот (например, 70%-ной H₂SO₄, 5%-ной HC1, 30%-ной CH₃COOH, холодных растворов щелочей).

Средний слой отвечает за обеспечение барьерных свойств. Традиционно применяемые в упаковочной промышленности и при производстве труб из сшитого полиэтилена полимерные барьерные слои EVOH, PVDC обладают недостаточно высокими характеристиками. По этой причине применяются металлическая фольга и металлизированные пленки. Первые обладают лучшими барьерными свойствами, так как механизм диффузии через их толщу возможен только через микро- и макродефекты в структуре. Наиболее распространены оболочки со средним слоем из алюминия и нержавеющей стали. С целью придания особо высоких характеристик возможна комбинация нескольких слоев барьерного материала. На рисунке 1 представлена фотография среза подобной оболочки. В качестве барьерного материала выступают три слоя алюминиевой фольги. Слой 1 выполняет защитную функцию и служит основой для алюминиевой фольги; слои 5, 8 – основа под барьерные слои; слой 10 необходим для создания сварного шва.

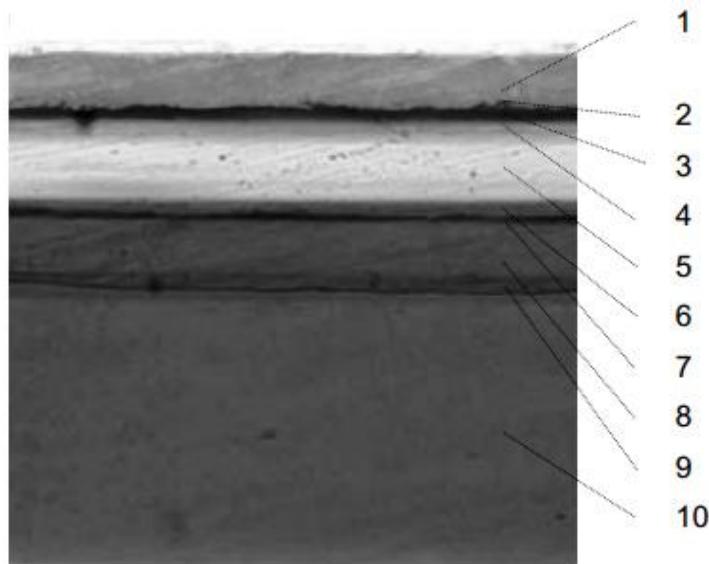


Рис. 1. Фотография среза материала оболочки вакуумной теплоизоляционной панели:
1, 8 – PET 12 мкм; 2, 4, 7 – алюминиевая фольга 30 нм;
3, 6, 9 – полиуретановый клей 2 мкм; 5 – PP 18 мкм; 10 – PE-LD 60 мкм.

Металлическая фольга имеет высокий коэффициент теплопроводности, что вызывает появление мостиков холода по периметру панели. Для снижения действия этого эффекта целесообразно заменять алюминиевую фольгу несколькими слоями ламинированных лавсановых пленок (PETmet). Однако следует учитывать то, что материалы оболочек, произведенных с использованием алюминиевой фольги, имеют более высокую стабильность барьерных характеристик во времени [5].

Стоит отметить, что алюминиевые фольги, продублированные с двух сторон полимерными пленками, производятся в России с 1960-х годов. На сегодняшний день для нужд промышленности выпускается множество видов и типоразмеров алюминиевой фольги, ламинированных другими материалами, в том числе полимерными пленками.

Внутренний слой необходим для сварки многослойной конструкции оболочки. Применимая в данном случае технология широко распространена в пищевой упаковочной промышленности. В качестве наплавляемого слоя используется полиэтилен (PE). Сварка пакетов производится в вакуумном упаковщике сразу после откачки воздуха при помощи планок с тефлоновым покрытием, которые прижимаются к месту спайки и нагреваются до температуры плавления присадочного материала. Для удобства при производстве упаковочного материала и раскройке по заданным размерам разумно наносить присадочный материал на всю площадь оболочки или использовать внутренний слой с низкой температурой плавления и хорошей свариваемостью. Также нужно учитывать, что для обеспечения требуемых барьерных характеристик сварного шва, он должен иметь минимальную толщину и протяженность, но максимально возможную ширину.

Таблица 2
Сравнение барьерных характеристик материалов оболочек

№	Конструкция материала оболочки	Коэффициент пропускания по кислороду ($\frac{\text{см}^3}{\text{м}^2}$ за 24 часа при температуре 23°C)	Коэффициент паропроницаемости (г/м ² за 24 часа при 90% относительной влажности и температуре 38°C)
1	12 мкм PETmet / 18 мкм PPmet / 60 мкм PE-LD	0,05	0,025
2	12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 12 мкм PETmet / 50 мкм PE-LD	0,0005	0,0025
3	12 мкм PET / 8 мкм Al / 100 мкм PE-LD	0,0005	0,005
4	20 мкм PETmet / 20 мкм PETmet / 25 мкм PE	0,00062	0,005
5	20 мкм PPmet / 12 мкм PETmet / 50 мкм PE	0,07	0,1

В данный момент на рынке уже существуют предложения материалов с высокими барьерными свойствами для применения в качестве оболочки ВИП панелей. Как видно из таблицы 2, наиболее подходящими характеристиками обладают оболочки, состоящие из двух-трех слоев металлизированного полиэтилена и оболочки барьерным слоем из алюминиевой фольги. В качестве внутреннего слоя во всех случаях применяется полиэтилен. Защитную функцию выполняет либо обычный, либо металлизированный лавсан.

Согласно рекомендациям, приведенным в [5; 6], для производства оболочек ВИП панелей необходимо применять пленки с коэффициентом пропускания по кислороду не выше $2 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3 / (\text{м}^2 \text{ сутки бар})$ и коэффициентом паропроницаемости не выше $10^{-4} \text{ г}/(\text{м}^2 \text{ сутки})$ [7]. При соблюдении этого условия, а также учитывая требования, что панели будут иметь площадь не менее $0,5 \text{ м}^2$ при толщине 2 см, можно обеспечить срок службы изделия от 25 лет и более. Для применения в строительной отрасли долговечность вакуумированных панелей должна быть сопоставима со сроком службы несущей конструкции. На практике этого добиться сложно, однако учитывая ремонтопригодность вакуумной теплоизоляции, а также ее исключительные теплотехнические характеристики ее можно рекомендовать к применению в конструкциях, обеспечивающих легкодоступность замены в случае отказа изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 98021 РФ МПКЗ Е 04 С 2/02. Теплоизоляционная панель / Селяев В. П., Травуш В. И., Осипов А. К., Селяев П. В., Гладышев А. С.; патентообладатель Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева». – № 2010117836/03; заявл. 04.05.10; опубл. 27.09.10, Бюл. № 30.
2. Селяев В. П., Куприяшкина Л. И., Неверов В. А., Селяев П. В., Окин М. А. Прогнозирование теплопроводности наполнителей вакуумных изоляционных панелей // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 4. – С.30–37.
3. Селяев В. П., Неверов В. А., Куприяшкина Л. И., Маштаев О. Г. Природные и искусственные микрокремнеземы в качестве наполнителей вакуумных изоляционных панелей // Строительные материалы. – 2014. – № 9. – С. 1–7.
4. Селяев В. П., Куприяшкина Л. И., Неверов В. А. Прогнозирование теплопроводности и оценка структурных характеристик зернистых систем для создания теплоизоляционных материалов нового поколения // Academia. Архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 89–94.

5. Heinemann U., Caps R., Fricke J. Characterization and optimization of filler materials for vacuum super insulations // Vuoto scienza e tecnologia. 1999. – Vol. 18. – №. 1-2. – pp. 43–46.
6. Caps R., Hetfleisch J., Rettelbach Th., Fricke J. Thermal Conductivity of Spun Glass Fibers as Filler Material for Vacuum Insulations // Thermal Conductivity. – 1996. – Vol. 23. – pp. 373–382.
7. Васильев Л. Л. Теплопроводность неметаллических зернистых систем // Строительная теплофизика. – М.; Л.: Энергия, 1966. – С. 48–56.

**БАЛЫКОВ А. С., НИЗИНА Т. А., КОРОВКИН Д. И.,
ВОЛОДИН В. В., КАШТАНОВ А. А., КАШТАНОВА Е. А.
ВЫСОКОПРОЧНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ
НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

Аннотация. В статье показана возможность применения природных и техногенных песков в рецептуре модифицированных мелкозернистых бетонов повышенной прочности. Разработаны составы высокопрочных мелкозернистых бетонов классов B60-B90, включающие строго подобранные компоненты бетонной смеси, в числе которых вяжущие, заполнители, а также целевые высококачественные добавки.

Ключевые слова: высокопрочный мелкозернистый бетон, техногенный и природный заполнитель, физико-механические характеристики.

**BALYKOV A. S., NIZINA T. A., KOROVKIN D. I.,
VOLODIN V. V., KASHTANOV A. A., KASHTANOVA E. A.
HIGH-STRENGTH FINE-GRAINED CONCRETES
BASED ON NATURAL AND TECHNOGENIC RAW MATERIALS**

Abstract. The article shows the use of natural and technogenic sands in the formulation of modified high-strength fine-grained concretes. The developed compositions of high-strength fine-grained concretes of B60-B90 classes include strictly selected components of the concrete mix consisting of binders, fillers, and targeted high-quality additives.

Keywords: high-strength fine-grained concrete, technogenic and natural filler, physical and mechanical characteristics.

Современные высококачественные цементные композиты характеризуются улучшенной технологичностью и удобоукладываемостью, высокой прочностью при сжатии, стабильностью объема и долговечностью [1–3].

Одним из приоритетных направлений мирового бетоноведения является использование высокопрочных и ультравысокопрочных цементных бетонов, так называемых High-Strength Concretes (HSC) и Ultra High-Strength Concretes (UHSC). За последние 25 лет созданы бетоны нового поколения с прочностью при сжатии 150–200 МПа и более, которые возможно производить на современных бетонных заводах в промышленных масштабах [4]. Применение композитов такой прочности позволяет значительно уменьшить геометрические размеры сечений сжатых и изгибаемых элементов несущих конструкций, существенно снижая при этом их объем и массу и, как следствие, расход бетона и стальной арматуры [5].

Однако на данный момент не существует четкой классификации такого рода бетонов. Согласно российским нормативным документам, в частности новому ГОСТ 31914-2015, к высокопрочным бетонам могут быть отнесены тяжелые и мелкозернистые цементные композиты класса по прочности при сжатии В60 и выше.

Многими авторами, в частности [1; 2; 4–12], отмечается тенденция к расширению применения мелкозернистого бетона в строительных конструкциях. Этот вид бетона имеет целый ряд заметных преимуществ, среди которых: высококачественная структура и высокая технологичность при правильно подобранный рецептуре; простота изготовления изделий как методом прессования, так и методом литья; возможность широкого применения сухих смесей с гарантией высокого качества и эффективного модифицирования композитов широким спектром органоминеральных добавок, обеспечивающих получение материалов с различными комплексами свойств [13; 14]; снижение стоимости бетона (до 15–25%) за счет использования дешевых местных песков по сравнению с бетоном на крупном заполнителе; возможность получения тонкостенных и слоистых конструкций, декоративных бетонов и фибробетонов, а также материалов и изделий переменной плотности, в частности фильтрующих, и целый ряд других достоинств.

Помимо природных местных песков, нужно отметить важность использования и техногенных заполнителей в рецептуре мелкозернистых бетонов. Актуальность и перспективность данного направления в бетоноведении обусловлены необходимостью и возможностью расширения сырьевой базы перспективного вида бетона при возрастающем дефиците природного заполнителя и накоплении многотоннажных зернистых промышленных отходов, например, при литейном производстве. Высокая степень использования песков-отходов способствует экономии энерго-сырьевых ресурсов, развитию экономических и технологических решений по их утилизации, а тем самым и улучшению экологической обстановки в регионах.

Необходимо отметить, что в большинстве литературных источников по созданию высокопрочных бетонов указывается на необходимость обеспечения активности цемента на уровне 45-50 МПа и выше (в основном бездобавочного или с минимальным содержанием добавок ЦЕМ I) для изготовления бетонов прочностью на сжатие 120-150 МПа и более [1]. Однако данных о применении низкомарочных и рядовых портландцементов марок М300 и М400 с активностью 25-40 МПа в рецептуре получения бетонов повышенной прочности резко ограничено. На наш взгляд, необходимо использовать возможность получения составов бетонов повышенной прочности с применением всей номенклатуры выпускаемых промышленностью портландцементов, позволяющую сделать оптимальный выбор активности цемента для высококачественных бетонов нового поколения различной

прочности в зависимости от требуемых условий (характера работы материала, оптимального расхода вяжущего, требований по экзотермии, воздействий на изделие внешней среды и др.) по аналогии со СНиП 82-02-95, применяемого для рядовых бетонов.

В данном экспериментальном исследовании оценивалась возможность получения высокопрочных мелкозернистых бетонов с применением рядовых портландцементов, природных песков Республики Мордовия и других регионов, а также песков-отходов литейного производства предприятия ООО «ВКМ Сталь» Республики Мордовия.

Мелкие заполнители, используемые в экспериментальном исследовании: П1 – формовочный песок-отход литейного производства ООО «ВКМ Сталь» фракции 0,3 мм (природное месторождение – карьер Ульяновской области ООО «Ташлинский ГОК»); П2 – чистый формовочный песок фракции 0,1 мм (Бурцевское месторождение Нижегородской области) и его обожженный отход (П3), образующийся при применении данного песка на производстве ООО «ВКМ Сталь»; П4 и П5 – природные кварцевые пески Новостепановского карьера (Республика Мордовия, Ичалковский район, п. Смольный) фракций 0,16-0,63 мм и 0,63-5 мм соответственно.

В качестве вяжущего применялся портландцемент ЦЕМ I 32,5Б (Ц1) производства ПАО «Мордовцемент» и портландцемент ЦЕМ I 42,5Б (Ц2) производства ПАО «Сенгилеевский цементный завод» (Ульяновская область). Для увеличения доли тонкодисперсных компонентов вяжущего в состав бетонной смеси вводился микрокальцит КМ-100 (МКМ) в количестве 45–75% от массы портландцемента.

В качестве активных минеральных добавок использовались микрокремнезем конденсированный неуплотненный МК-85 (МК) и уплотненный (МКУ), а также высокоактивный метакаолин белый (ВМК).

Для обеспечения водоредуцирующего и пластифицирующего эффектов применялся высококачественный суперпластификатор Melflux двух модификаций – 1641 F (MF1) и 5581 F (MF2), вводимый в количестве 0,9–1% от массы портландцемента.

Бетонные смеси изготавливались подвижными, большинство составов имели консистенцию от литьих до самоуплотняющихся. В ходе эксперимента исследовались следующие характеристики: прочность при сжатии (ГОСТ 310.4) и на растяжение при изгибе (ГОСТ 310.4) в возрасте 28 суток.

Составы мелкозернистых бетонов и результаты их испытаний представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

**Составы высокопрочных мелкозернистых бетонов
(содержание цемента в кг на 1 м³ бетонной смеси)**

№ состава	Ц1, кг	Ц2, кг	Содержание модификатора, % от массы портландцемента			Содержание песка, % от массы портландцемента					В/Ц
			МК	МКУ	ВМК	П1	П2	П3	П4	П5	
1	394	0	0	10	0	0	0	0	144	244	0.58
2	0	722	0	0	10	0	0	0	145	0	0.37
3	722	0	0	0	10	0	0	145	0	0	0.51
4	722	0	0	0	10	0	145	0	0	0	0.47
5	0	722	10	0	0	0	0	0	145	0	0.34
6	722	0	0	0	10	145	0	0	0	0	0.33
7	0	750	0	0	0	145	0	0	0	0	0.29
8	0	500	0	0	10	0	0	0	260	0	0.45
9	0	500	10	0	0	0	0	0	260	0	0.43

Таблица 2

Прочностные свойства композитов в возрасте 28 суток

№ состава	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа
1	5.7	51.2
2	10.5	110.3
3	6.5	56.1
4	9	66.8
5	14.4	104.0
6	11.1	94.9
7	9.2	98.6
8	6.9	82.4
9	8	86.5

Наибольшие значения прочностных характеристик в возрасте 28 суток зафиксированы у составов №2 и 5: соответственно 10,5 и 14,4 МПа – на растяжение при изгибе, 110,3 и 104,0 МПа – при сжатии. Данные составы получены на Сенгилеевском портландцементе с применением ВМК, МК и Ичалковского природного кварцевого песка фракцией 0,16-0,63 мм. Из составов на Мордовском портландцементе следует отметить состав с ВМК (№ 6) с прочностными показателями 11,1 и 94,9 МПа на растяжение при изгибе и при сжатии соответственно.

Среди остальных составов стоит выделить состав №1 со средней прочностью при сжатии 51 МПа при расходе портландцемента 394 кг/м³ бетонной смеси, а также составы №8 и 9 со средним расходом вяжущего 500 кг на 1 м³ бетонной смеси, имеющими высокую прочность при сжатии – 82 и 87 МПа соответственно.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований были разработаны составы высокопрочных мелкозернистых бетонов классов В60-В90, включающие заполнители как природного, так и техногенного происхождений, а также целевые высококачественные добавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: АСВ, 2006. – 368 с.
2. Фаликман В. Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны // Бетон и железобетон. – 2011. – № 2. – С. 78–84.
3. Ушеров-Маршак А. В. Бетоны нового поколения – бетоны с добавками // Бетон и железобетон. – 2011. – № 1. – С. 78–81.
4. Калашников В. И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего // Строительные материалы. – 2016. – № 1-2. – С. 96–103.
5. Хозин В. Г., Ханифов Ф. М. Стратегия инновационного развития бетонного строительства в Республике Татарстан // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции «Высокопрочные бетоны: технологии, конструкции, экономика (ВПБ-2016)». – Казань: КГАСУ, 2016. – С. 10–12.
6. Баженов Ю. М. Многокомпонентные мелкозернистые бетоны // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – № 10. – С. 24.
7. Лесовик Р. В., Клюев С. В. Техногенные пески для производства высококачественного фибробетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – М., 2012. – № 8. – С. 31–33.
8. Низина Т. А., Балыков А. С. Анализ комплексного влияния модифицирующих добавок и дисперсного армирования на физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 4-1. – С. 25–32.
9. Низина Т. А., Балыков А. С., Сарайкин А. С. Экспериментальные исследования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // УралНИИпроект РААСН. – 2015. – № 4. – С. 91–95.
10. Низина Т. А., Балыков А. С. Экспериментально-статистические модели свойств модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Инженерно-строительный журнал. – 2016. – № 2. – С. 13–25.

11. Низина Т. А., Пономарев А. Н., Балыков А. С. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок // Строительные материалы. – 2016. – № 9. – С. 68–72.
12. Низина Т. А., Балыков А. С. Построение экспериментально-статистических моделей «состав – свойство» физико-механических характеристик, модифицированных дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2016. – Вып. 45(64). – С. 54–66.
13. Низина Т. А., Балбалин А. В., Балыков А. С. Фрактальный анализ кривых деформирования композиционных строительных материалов при сжатии [Электронный ресурс] // Огарёв-online. Раздел «Технические науки». – 2015. – Выпуск 13. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/fraktalnyj-analiz-krivuyh-deformirovaniya-kompozicionnyx-stroitelnyx-materialov-pri-szhatii>.
14. Селяев В. П., Низина Т. А., Балыков А. С., Низин Д. Р., Балбалин А. В. Фрактальный анализ кривых деформирования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов при сжатии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2016. – № 1. – С. 129–146.

ЛЕДЯЙКИН А. С., УТКИНА В. Н.

ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. Выполнен обзор зарубежного опыта проектирования высотных зданий.

Проведен анализ конструктивных решений небоскребов США и стран Азии. Определены тенденции развития современного высотного строительства.

Ключевые слова: высотное здание, небоскреб, конструктивная система, строительный материал, железобетон, металл.

LEDYAYKIN A. S., UTKINA V. N.

INTERNATIONAL PRACTICES OF HIGH-RISE BUILDINGS DESIGN: A REVIEW

Abstract. The article provides a review of the best international practices of high-rise buildings design. An analysis of constructive decisions of sky-scrappers of the USA and Asian countries is carried out. The tendencies of modern high-rise construction are revealed.

Keywords: high-rise building, sky-scraper, structural system, building material, reinforced concrete, metal.

Небоскреб является показательным символом современного строительства. Самые высокие здания мира сегодня поражают своим величием и технической новизной.

Возвведение высотных зданий началось в конце XIX века в США. Это обусловлено появлением новых технологий и материалов в промышленности и строительстве. Небоскреб «Хоум Иншуранс Билдинг», возведенный в 1885 году в Чикаго после разорительного пожара, был одним из первых высотных зданий и имел всего 10 этажей и высоту 42 метра, позднее были надстроены еще два этажа, и высота здания стала 54,9 метра. Автором проекта является американский архитектор Уильям Ле Барон Дженни. Десятиэтажная высота длительный промежуток времени оставалась максимальной для жилых зданий. Существенным недостатком первых многоэтажных зданий было отсутствие лифтов и электрического освещения. Высотные здания изначально предназначались под офисы, конторы, торговые помещения, банки [1]. Созданное во второй половине XIX века Э. Отисом устройство вертикального перемещения, получившее название «лифт», позволило преодолеть ограниченность высоты жилых зданий [2].

В первых зданиях высотой 10–12 этажей применялась перекрестно-стеновая конструктивная схема, в качестве строительного материала использовался кирпич. При возведении в 1891 году в Чикаго 16-этажного кирпичного здания «Монаднок Билдинг» попытка авторов превзойти этажность, применяя традиционную конструктивную систему, привела к увеличению толщины стен первого этажа до двух метров. Была окончательно

доказана бесперспективность использования кирпичных стен в качестве несущей конструкции высотных домов. «Монаднок Билдинг» является первым высотным зданием, оборудованным лифтом и имеющим электроосвещение и телефонную связь.

В 1891 году в строительстве высотных зданий совершается переход на каркасную систему с использованием металла (вначале чугуна, потом стали) для несущих конструкций. Это было следующим этапом развития высотного строительства, который продолжался до 1916 года. Каркасные конструкции имели высокую прочность и дали возможность значительного повышения этажности зданий.

Внешние стены этих зданий были кирпичными, а несущие конструкции состояли из чугунных стоек и балок. Позднее американец Джеймс Богард собирает наружные стены из чугунных деталей, достигая этим гораздо лучшей инсоляции помещений, чем при каменных стенах. Самый значительный шаг в этом направлении сделала Чикагская школа, разработавшая принципы использования стального каркаса как несущей конструкции. Преимущество стали перед чугуном заключается в том, что она хорошо работает не только на сжатие, но и на растяжение.

Переход на стальные прокатные профили в качестве материала несущих конструкций и, соответственно, на клепаные соединения позволил реализовать на практике преимущества каркасной системы. С этого момента началось покорение высоты, так называемая «гонка по вертикали» [1].

В 1931 году было возведено 102-этажное здание высотой 381 метр – «Эмпайр Стейт Билдинг» (Empire State Building) (рис. 1). Здание было построено всего лишь за тринадцать месяцев. В начале 1950-х годов была установлена телевизионная антенна, и его высота составила 448 м. «Эмпайр Стейт Билдинг» сохранял за собой звание самого высокого здания в мире больше 40 лет. В нем была достигнута максимальная несущая способность стального рамного каркаса. Имея внушительные размеры, это здание обладает изящными пропорциями. Верхние этажи размещены тремя ступенями и несколько углублены по отношению к общей линии фасада. Фасад выполнен из серого камня, и по всему фасаду тянутся вертикальные полосы из коррозионностойкой стали [1; 3].

В 1973 году было закончено строительство Башен-близнецов Всемирного торгового центра, каждая по 110 этажей – Северная высотой 526,3 метра (с учетом установленной на крыше антенны) и Южная высотой 415 метров. При проектировании этих зданий была применена новая структурная модель – жесткая «полая труба» из близко расположенных стальных колонн, с фермами этажей, расширяющимися к центральной части. Междуэтажные перекрытия выполнены из гофрированной стали и прочных бетонных плит.



Рис. 1. Эмпайр Стейт Билдинг (381 м, 1931 г.).

Фасады созданы в виде каркасов из стали и монтируемых на них модульных алюминиевых секций. Конструкция такого типа сейсмоустойчива и может противодействовать давлению очень сильного ветра на большой высоте. Фундаменты конструкций ушли под землю на 23 метра. На каркасы зданий израсходовано 200 тысяч тонн стального проката, а кабели электрических сетей протянулись на 3 тысячи миль – половину расстояния от Нью-Йорка до Лондона [4; 5].

В 2009 году в центре Чикаго (Иллинойс, США) был возведен Международный отель Башня Трампа – это современнейший небоскреб высотой 356,6 м (рис. 2). Основным материалом башни является железобетон. Из-за колоссального веса стали еще при проектировании разработчики отказались от ее использования. Применение особого железобетона, прочность которого сравнима с прочностью стали, сделало возможным добавить еще два этажа без увеличения веса конструкции. В результате Башня Трампа стала самым высоким железобетонным зданием в мире.

В здании использовались перекрытия из бетона и нержавеющей стали. Бетон отличался химическим составом и мог без проблем подаваться на высоту 520 м. Для создания каркаса башни было использовано 45 тысяч тонн арматурной стали [6; 7].



Рис. 2. Международный отель Башня Трампа (356,6 м, 2009 г.).

В конце XX века высотное строительство начало интенсивно развиваться благодаря резкому экономическому скачку в странах Юго-Восточной Азии, Индонезии, Южной Корее и других [8]. Одними из самых высоких объектов стран Азии являются небоскребы «Бурдж-Халифа» в Дубае и «Шанхайская Башня» в Шанхае.

Строительство «Бурдж-Халифа» было завершено в 2010 году. В настоящее время это самое высокое здание в мире (его высота 828 м) (рис. 3). Каркас «Бурдж-Халифа» железобетонный. Для его формирования было использовано 30 тысяч тонн стали и 250 тысяч m^3 бетона без учета фундамента. Рекордная высота нагнетания бетонной смеси составила 601 м. Специальный вид высокопрочного бетона обладал также способностью выдерживать высокую температуру, что является необходимым условием в Эмиратах. Каркас здания обложен в высокотехнологичные стены-шторы из стекла и металла. Стены присоединяются к каркасу небоскреба секциями высотой до двух этажей.

Для небоскреба большую опасность представляет сильный ветер. Архитекторы применили оригинальное решение. Секции башни спроектированы так, чтобы отклонять башню в разные стороны. Это разрушает мощь вихрей. Обдувая здание «Бурдж-Халифа», ветер никогда не образует единого потока. Вокруг каждой части здания вихри движутся с различной скоростью [9; 10].



Рис. 3. Бурдж-Халифа (828 м, 2010 г.).

В 2015 году был построен небоскреб «Шанхайская Башня» – символ процветания современного Китая (рис. 4). Его строительная высота 632 метра. По форме Шанхайская башня похожа на немного закрученную пирамиду с кругловатыми гранями и продольным швом – ребром, плавно обвивающим небоскреб от основания до верха башни. Такая форма здания снижает силу ветра на 25%. Ограждающие конструкции здания двойные, в пространстве между ними расположены атриумы. Небоскреб состоит из 9 цилиндрических секций. Они установлены друг на друга и закреплены на монолитном железобетонном сердечнике. Каждая секция представляет собой отдельное сообщество – «город в городе» со своей инфраструктурой и энергообеспечением. Каркас здания включает в себя монолитное ядро из железобетона, четыре пары супер-колонн из сталебетона и четыре диагональных колоны, соединенные спаренными горизонтальными поясами из металлических ферм. Крепление колонн к ядру осуществляется при помощи ферм-аутригеров.

В качестве фундамента здания были использованы буронабивные сваи с железобетонным монолитным плитным ростверком. Это было первое в мире применение буронабивных свай для здания высотой более 400 метров при грунтах основания из мягких

глин и пылеватых песков различной крупности. Перекрытия небоскреба состоят из монолитного железобетона в несъемной опалубке из профилированного листа. Толщина перекрытий 155–220 мм, диаметр 46–82,8 м. Шанхайская башня является самым экологичным небоскребом на земле. 27 ветрогенераторов установлены на верхних этажах. Двойные ограждающие конструкции здания хорошо изолируют от внешней среды и создают отличные условия для энергосбережения [11; 12].



Рис. 4. Шанхайская Башня (632 м, 2015 г.).

На основе проанализированного материала можно выделить следующие тенденции развития высотного строительства: архитектурная необычность; экологичность проектов; увеличение размеров сооружений; расширение и совершенствование технических возможностей; использование энергоэффективных технологий; формирование пространственных мультиструктур с функциональной и энергетической автономностью; использование принципиально новых строительных материалов; применение прогрессивных конструктивных и архитектурных решений; обеспечение комфортных условий в помещениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генералов В. П. Особенности проектирования высотных зданий: учеб. пособие / Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2009. – 296 с.
2. Лифт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лифт>.
3. Современное высотное строительство. Монография. – М.: ГУП «ИТЦ Москомархитектуры», 2007. – 440 с.
4. Великие шедевры архитектуры. 100 зданий, которые восхитили мир. Всемирный торговый центр Нью-Йорк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://culture.wikireading.ru/53886>.
5. Всемирный торговый центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Всемирный_торговый_центр.
6. Trump International Hotel and Tower [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://krutoy-dom.ru/trump_international_hotel_and_tower/.
7. Международная гостиница и башня Трампа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Международная_гостиница_и_башня_Трампа_\(Чикаго\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Международная_гостиница_и_башня_Трампа_(Чикаго)).
8. Маклакова Т. Г., Сенин Н. И. Архитектурно-конструктивные и градостроительные проблемы проектирования высотных зданий: научно-образовательный материал / Московск. гос. строит. ун-т. – Москва, 2009. – 28 с.
9. Бурдж-Халифа. На рекордной высоте высоких технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zvt.abok.ru/articles/183/Burdzh_Halifa_Na_rekordnoi_visote_visokih_tehnologii.
10. Бурдж-Халифа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Бурдж_Халифа.
11. Шанхайская башня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://monolitpro.info/shedevry-monolita/shanhajskaya-bashnya>.
12. Шанхайская башня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Шанхайская_башня.

**КУПРИЯШКИНА Л. И., ГОЛЯЕВ Е. С., СМУТИН Е. В.,
ТУКТАРОВ Р. Н., НУРЛЫБАЕВ Р. Е.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛОГО ДОМА**

Аннотация. Приведены результаты натурного обследования жилого дома и указаны работы, которые необходимо провести для безопасных условий его эксплуатации. Предложены растворы с цеолитсодержащим наполнителем для инъектирования трещин. Рассмотрена возможность применения диатомита в составах сухих строительных смесей.

Ключевые слова: реконструкция, сухие строительные смеси, цеолитсодержащие породы, диатомит, трещины, конструкции, стены, ремонт, свойства, эксплуатация.

KUPRIYASHKINA L. I., GOLYAEV E. S., SMUTIN E. V.,

TUKTAROV R. N., NURLYBAEV R. E.

**THE USE OF LOCAL RAW MATERIAL RESOURCES
AT RESIDENTIAL BUILDING RECONSTRUCTION**

Abstract. The article includes the results of an on-site survey of an apartment building. The list of works that must be done for further safe operating of the house is provided. Solutions with a zeolite-containing filler for injecting cracks are proposed. The possibility of using diatomite in the composition of dry construction mixtures is considered.

Keywords: reconstruction, dry building mixtures, zeolite-containing rocks, diatomite, cracks, structures, walls, repair, properties, operation.

Работы по реконструкции зданий включают в себя гидроизоляцию основания и подвальных помещений, ремонт фасада и стен, замену перекрытий и кровельной системы. Реконструкция зданий и сооружений состоит из тех же этапов, что и инвестиционные циклы новостроек. Один из этапов – это обследование реконструируемых объектов, в ходе которого оценивают не только гидрогеологический режим, грунтовые условия и рельеф, но и состояние, в котором находятся на данный момент подземные и надземные конструкции, а также возможность дополнительной нагрузки на них и их дальнейшей эксплуатации. Обследование всех элементов здания необходимо проводить тщательно и подробно описывать любые найденные повреждения. При этом каждое искривление, трещина или пятно сырости должно быть сфотографировано, замерено и зафиксировано в документе. По окончании обследования составляют специальный отчет, куда входят фотографии и расчеты.

По адресу Проспект 50 лет Октября в г. Саранске было проведено натурное обследование жилого дома. Были выявлены дефекты конструкций, которые возникли во

время эксплуатации данного объекта (рис. 1). Год постройки – 1961 г. Здание в плане прямоугольное, количество этажей – 5, подъездов – 4. Конструктивная схема здания с несущими поперечными стенами. Фундаменты – монолитные железобетонные. Наружные стены выполнены из кирпича силикатного размером 250×120×65 мм. Общая площадь дома 792 м². Перекрытия – деревянные. Кровля двухскатная по деревянным стропильным конструкциям. Покрытие – из шифера.



Рис 1. Фасад здания.

В результате обследования выявлено следующее:

1. В результате повреждения прежней кровли на отдельных участках стен имеются следы протечек. Произошло разрушение облицовочного слоя стен, цоколя, бетонных козырьков, балконной плиты (с оголившейся в нем арматуры), которые подверглась коррозии. Появились сквозные трещины по наружным стенам здания в количестве 2 шт. длиной до 110 см и шириной раскрытия до 1 см. Также на отдельных участках здания образовалась плесень.

2. Основными причинами разрушения явились старение материалов и отсутствие своевременных работ по устранению возникших дефектов. Разбитый шифер и отсутствие организованного водоотведения привело к намоканию и разрушению стен здания. Существующие ограждающие конструкции и кровля на момент обследования находились в ограниченно-работоспособном техническом состоянии.

Для обеспечения безопасных условий эксплуатации здания и приведения строительных конструкций здания в работоспособное техническое состояние необходимо было выполнить: 1) инъецирование трещин строительным раствором; 2) снятие старого штукатурного слоя с последующим оштукатуриванием стен здания с использованием армирующей сетки; 3) усиление стен путем стягивания металлическими элементами; 4) горизонтальную гидроизоляцию несущих стен цоколя; 5) частичный ремонт кровли; 6) установку козырька над входной дверью; 7) устранить повреждения в балконных плитах.



Вертикальная сквозная трещина между этажами



Разрушение ж/б балконной плиты, коррозия арматуры



Разрушение бетона под козырьком подъезда

Рис. 2. Результаты обследования здания.

Работы по усилению и устраниению дефектов строительных конструкций необходимо производить лицензированной организацией в соответствии со специально разработанными конструктивными решениями. В качестве используемых строительных растворов решено было использовать композиционные материалы, позволяющие не только устранить существующие дефекты, но и улучшить их эксплуатационные свойства.

Для инъецирования трещин был подобран состав с наполненным цементным вяжущим. В качестве наполнителя выбраны цеолитсодержащие породы. В виде месторождений цеолитсодержащие породы встречаются в регионах Среднего Поволжья, в том числе, в Республике Мордовия (Атяшевское месторождение). Общие прогнозные ресурсы цеолитов на территории РМ на начало 2012 года составляют чуть более 225 млн. м³. Основные залежи сырья сосредоточены в восточных районах республики в отложениях турон-сантонского ярусов. По содержанию клиноптилолита эти отложения превосходят сантонские отложения Татарстана. Имеющийся фонд прогнозных ресурсов может считаться

достаточной базой для перспективного использования цеолитов Мордовии в качестве минерального сырья для производства различного рода строительных материалов, компонентов сухих смесей и добавок, теплоизоляционных изделий и наполнителей.

Химический состав, полученный с помощью рентгеноструктурного анализа, и некоторые физико-механические свойства цеолитсодержащих пород Мордовского месторождения приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав цеолитсодержащих пород

Содержание оксидов, %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	H ₂ O	п.п.п.
49,21	8,52	12,94	1,08	12,71	1,27	6,64	6,06	1,51

Таблица 2

Физико-механические свойства цеолитсодержащих пород

Истинная плотность, кг/м ³	Средняя плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Пористость, %	Прочность, МПа	Пустотность, %	Влажность, %	Водопоглощение, %
3000	1714	680	42,87	2,5–3,6	60,32	25,93	40,7

Цеолиты представляют собой водные алюмосиликаты, построенные, в основном, из четырех-, пяти-, шестичленных (и более) колец, образованных кремнийкислородными тетраэдрами. Часть атомов кремния в этих тетраэдрах может быть замещена алюминием. Во внутристеклическом пространстве имеется система микрополостей, соединенных между собой каналами, в которых располагаются обменные катионы и молекулы воды, т.е. цеолит может являться наноразмерным каркасом, внедряясь в который молекулы и ионы образуют упорядоченную структуру. Растворы, содержащие цеолиты, приобретают улучшенные свойства, позволяя увеличить прочность в 1,5 раза и сроки эксплуатации. При этом экономия цемента составляет до 20% [1; 2].

Для внутренней отделки были разработаны отделочные растворы, в состав которых был введен диатомит Атемарского месторождения Кочкуровско-Комсомольской линии, расположенного в 3 км к востоку от села Атемар Лямбирского района Республики Мордовия. Добыча ископаемых осуществляется открытым способом.

Диатомиты – легкие высокопористые, тонкозернистые породы органогенной структуры. Основная масса представлена створками диатомей и их крупными обломками, количество которых в 1 см³ достигает 1,2–7,2 млн шт. Сложенны створки, в основном, рентгеноаморфным опалом. Породы диатомита – в основном трехкомпонентные системы. Наряду с кремнистой составляющей в них постоянно присутствует глинистый материал. В

типичных (нормальных) диатомитах, опоках, трепелах содержание кремнезема (опал-кристобалита) колеблется обычно от 60 до 80% (редко больше), глинистого материала – от 10 до 40%. В качестве постоянной примеси в различном количестве присутствует также обломочный песчано-алевритовый материал (кварц, глауконит и др.).

Диатомит Атемарского месторождения имеет следующий химический состав в % по массе: SiO_2 – 82,56; Al_2O_3 – 4,43; Fe_2O_3 – 2,86; NiO_2 – 0,21; CaO_2 – 1,90; MgO – 0,76; SO_3 – 0,02; CO_2 – 0,11; K_2O – 0,96; Na_2O – 0,18; п.п.п. – 6,59; гигроскопическая вода – 3,35; несвязанная вода H_2O – 46,75; органические примеси – 0,46; CO_2 – 0,11. В диатомите содержится большое количество SiO_2 (82,56%) и сравнительно мало Al_2O_3 (4,43%), что свидетельствует о незначительном содержании в породе глинистых минералов и, соответственно, низкой пластичности. Показатели физико-механических свойств диатомита приведены в таблице 3.

Таблица 3

Физико-механические свойства диатомита Атемарского месторождения

Показатели	Значение
Истинная плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	2,15
Реакция на 10% раствор HCl	не вскипает
Размокаемость, %.	97,80
Число пластичности	6,5
Огнеупорность, $^{\circ}\text{C}$	1560
Открытая пористость, %	58
Коэффициент размягчения	0,37

Использование разработанных составов сухих строительных смесей при проведении восстановительных работ показало, что введение диатомита (до 30%) в вяжущее позволяет получить теплые растворы для внутренних отделочных работ, благодаря которым уменьшается теплопроводность ограждающих конструкций. Включение диатомита приводит к повышению коэффициента конструктивного качества и водоудерживающей способности [3; 4]. Применение цеолитсодержащих пород в строительных смесях позволяет получить растворы с повышенным коэффициентом химического сопротивления. Использование местных сырьевых ресурсов как диатомит и цеолитсодержащие породы позволяет снизить себестоимость затрат на реконструкцию жилого дома до 20% и увеличить сроки эксплуатации здания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селяев В. П., Куприяшкина Л. И., Неверов В. А., Селяев П. В. Влияние цеолитосодержащих наполнителей на прочность и пористость цементных композитов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 6. – С. 36–43.
2. Селяев В. П., Седова А. А., Куприяшкина Л. И., Осипов А. К., Куприяшкина Е. И. Изучение процессов повреждения цементного камня, наполненного цеолитосодержащей породой, растворами хлористоводородной кислоты // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 7. – С. 32–38.
3. Пат. 2297881 Российская Федерация, МПК C04B28/02, C04B111/20. Сухая строительная смесь / Селяев В. П., Куприяшкина Л. И., Болдырев А. А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева». – № 2005133842/03; заявл. 01.11.2005; опубл. 27.04.2007, Бюл. № 23. – 3 с.
4. Селяев В. П., Куприяшкина Л. И., Седова А. А., Осипов А. К. Влияние условий модификации диатомита на его физико-химические свойства // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 4–12.

**АРТАМОНОВ Д. А., НИЗИН Д. Р., ЧЕРНОВ А. Н., АНДРОНЫЧЕВ Д. О.,
КУЗНЕЦОВ Н. М., АСТАШКИН Е. Э., БАЗАЕВА В. В.**

**ВЛИЯНИЕ ОТВЕРДИТЕЛЯ НА УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ, ЭКСПОНИРОВАННЫХ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ¹**

Аннотация. Приведены результаты испытаний составов полимерных композитов на основе эпоксидных связующих, экспонированных в условиях воздействия натуральных климатических факторов умеренного климата. Выполнен анализ изменения суммарной солнечной радиации и ультрафиолетовых излучений диапазонов А и В. Определено влияние длительности экспонирования и интенсивности актинометрических параметров на изменение упруго-прочностных характеристик полимерных композитов. Определены коэффициенты экспоненциального уравнения, описывающего изменение относительного предела прочности и удлинения эпоксидных композитов при растяжении.

Ключевые слова: полимерные композиты, эпоксидные связующие, отвердители, длительность экспонирования, актинометрические параметры, предел прочности при растяжении, относительное удлинение.

ARTAMONOV D. A., NIZIN D. R., CHERNOV A. N., ANDRONYCHEV D. O.,

KUZNETSOV N. M., ASTASHKIN E. E., BAZAEVA V. V.

THE IMPACT OF HARDENER ON ELASTIC-STRENGTH PARAMETERS

OF EPOXY POLYMERS EXPOSED TO NATURAL CONDITIONS

Abstract. The article provides the results of testing polymer composites based on epoxy binders and exposed to natural climatic factors of the temperate climate. The analysis of summary solar radiation and ultraviolet radiation ranges A and B is completed. The effect of exposure duration and intensity of actinometrical parameters on the elastic-strength properties of polymer composites is studied. The coefficients of the exponential equation describing the change of relative strength and extension of epoxy composites under tension are calculated.

Keywords: polymer composites, epoxy binders, hardeners, exposure duration, actinometrical parameters, tensile strength, relative extension.

Полимерные композиционные материалы и покрытия на их основе все чаще находят применение в качестве защитно-декоративных покрытий строительных конструкций, в том числе работающих в условиях воздействия натуральных климатических факторов [1–6]. При этом известно, что одним из главных недостатков полимерных композитов является их достаточно низкая стойкость к действию климатических факторов. Исследования в области

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-33-01008.

старения полимеров [5; 7–15] демонстрируют, что большинство полимерных материалов существенно деградирует со временем. Старение полимерных материалов происходит под действием агрессивных факторов окружающей среды и сопровождается изменением химической и физической структур.

Известно, что свойства полимерных композитов, а также их стойкость в процессе экспонирования во многом определяется видом отверждающей системы [4; 6], что делает крайне актуальным оценку климатической стойкости полимерных материалов с выявлением наиболее эффективных отвердителей.

В данной работе при изготовлении полимерных составов использовалась эпоксидная смола ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), являющаяся одной из наиболее распространенных во множестве отраслей, в том числе и в строительной. Однако она обладает достаточно высокой вязкостью, что приводит к необходимости применения технологических решений, позволяющих повысить подвижность связующих на ее основе.

В качестве отвердителей использовались марки Этал-1440, Этал-1460 и Этал-45М производства АО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ». Все используемые отвердители относятся к аминному типу, нетоксичны, предназначены для холодного отверждения, что является наиболее целесообразным при применении получаемых составов покрытий для повышения несущей способности и защиты строительных конструкций от агрессивных факторов.

Отвердитель Этал-1440 предназначен для отверждения эпоксидных смол и компаундов при температуре не ниже +5 °C, имеющих повышенные требования по теплостойкости. Не содержит летучие вещества и метафенилендиамин, рекомендуется для изготовления компаундов, устойчивых к перепадам температур от –40 до +150 °C. При совмещении с ЭД-20 обладают жизнеспособностью 2,5 часа и теплостойкостью по Мартенсу не менее 150 °C.

Отвердитель Этал-1460 предназначен для отверждения эпоксидных смол при температуре от 0 до +40 °C при любой влажности и под водой. По данным производителя, данный отвердитель обеспечивает высокую адгезию и рекомендуется для изготовления антикоррозионных покрытий, стойких к воздействию воды, кислот и щелочей.

Отвердитель Этал-45М предназначен для отверждения эпоксидных смол при температуре от –7 до +45 °C в условиях любой влажности; при совмещении со смолой ЭД-20 имеет в три раза большую жизнеспособность и значительно более низкую (около 60 °C) температуру экзотермической реакции по сравнению с композициями, отверждамыми полиэтиленполиамином.

Основные показатели эпоксидных композитов в зависимости от вида используемого отвердителя приведены в таблице 1. Установлено, что наибольшей прочностью при

растяжении обладает состав на основе отвердителя Этал-45М. Замена Этал-45М на Этал-1440 приводит к снижению прочностных показателей на 10,8%, на Этал-1460 – 20,4%. При этом наибольшее относительное удлинение при максимальной нагрузке (9,77%) зафиксировано для эпоксидного композита ЭД-20 + Этал-1440, наименьшее (8,18%) – для ЭД-20 + Этал-1460.

Таблица 1
Свойства эпоксидных композитов в исходном состоянии

Исследуемая характеристика	Марка отвердителя		
	Этал-1440	Этал-1460	Этал-45М
Плотность, г/см ³	1,63	1,57	1,64
Предел прочности при растяжении, МПа	52,86	47,16	59,28
Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %	9,77	8,18	8,62

Натурные испытания исследуемых составов проводились на испытательной площадке Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва с 1 декабря 2014 года в течение 12 месяцев. Контрольными точками для измерения упруго-прочностных характеристик образцов были выбраны 45, 90, 180, 270 и 365 суток. Фиксация метеорологических (температура, относительная влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, осадки), экологических (концентрации загрязняющих веществ) и актинометрических (суммарная солнечная радиация и ультрафиолетовое излучение А (320-400 нм) и В (280-320 нм)) параметров осуществлялась с помощью автоматической станции контроля с частотой 20 и 10 минут в круглосуточном режиме [16].

Анализ изменения предела прочности исследуемых составов при растяжении показал (рис. 1), что наибольшее, практически монотонное, снижение свойств в течение 180 и 270 суток наблюдается для композитов, отверждаемых, соответственно, Этал-1460 и Этал-45М. На дальнейших временных этапах зафиксировано стабилизация свойств эпоксидных композитов. К концу исследуемого периода натурного экспонирования наблюдается снижение прочностных показателей на 60% для состава с отвердителем Этал-45М и на 69% – с Этал-1460.

Наибольшая стабильность свойств через 12 месяцев климатического воздействия в условиях умеренного климата (г. Саранск) зафиксирована для эпоксидного композита, отверждаемого Этал-1440; снижение предела прочности при растяжении в этом случае не превышает 34%.

Известно, что наибольшее агрессивное воздействие на полимерные композиционные материалы, как правило, оказывает УФ-облучение в интервале длин волн 300-400 нм

[5; 7; 8]. Под действием ультрафиолетового излучения разрушаются связи в молекулах полимерах, что является основной причиной негативного влияния солнечной радиации. В работе [17] показано, что наибольшее воздействие солнечная радиация оказывает в диапазоне 280÷2800 нм, а в особенности – ее ультрафиолетовая компонента в диапазоне 280÷320 нм. Видимая компонента поглощается полимерами, но относительно слабо, и обладает меньшей фотохимической активностью.

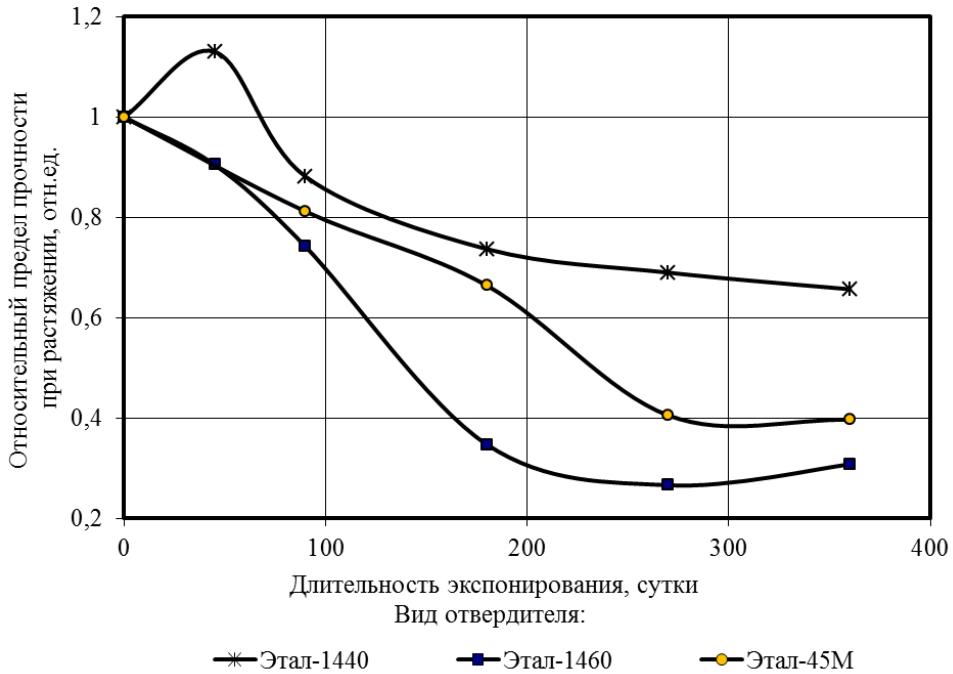


Рис. 1. Изменение относительного предела прочности эпоксидных композитов при растяжении в зависимости от длительности натурного экспонирования.

Изменение интенсивности актинометрических параметров (суммарной солнечной радиации и ультрафиолетовых излучений диапазона А и В) в течении 12 месяцев 2014-15 гг. представлено таблице 2. Установлено, что интенсивность суммарного солнечного воздействия и ультрафиолетовое излучение диапазона А в весенние, летние и осенние сезоны повышается по сравнению с зимними месяцами, соответственно, в 5.01÷5.08, 6.01÷6.12 и 1.8÷2.11 раз. Суммарное ультрафиолетовое излучение диапазона В при этом для тех же исследуемых периодов по сравнению с зимним сезоном повышается в 15.4, 25.95 и 5.23 раза.

Для описания изменения относительного предела прочности эпоксидных композитов при растяжении в зависимости длительности экспонирования и актинометрических параметров использовалась экспоненциальная зависимость вида:

$$\Delta\sigma_{\text{раст.}}^X = \exp(\alpha_X \cdot X^{\beta_X}), \quad (1)$$

где α_X , β_X – коэффициенты уравнения, зависящие от состава исследуемого композита; X – переменный фактор, отождествляемый в зависимости от вида анализируемых кривых с

длительностью экспонирования (T , сутки), суммарной солнечной радиацией (Q , МДж/м²) или суммарным ультрафиолетовым излучением диапазона А (U_A , МДж/м²), В (U_B , кДж/м²).

Таблица 2

Значения актинометрических параметров в зависимости от месяца натурного экспонирования

Месяц, год	Актинометрический параметр		
	Q , МДж/м ²	U_A , МДж/м ²	U_B , кДж/м ²
декабрь, 2014	40,35	1,90	0,00
январь, 2015	65,56	3,51	9,90
февраль, 2015	123,60	6,60	46,50
март, 2015	332,80	16,56	178,62
апрель, 2015	336,95	17,93	227,76
май, 2015	497,18	25,57	462,00
июнь, 2015	495,30	25,87	537,18
июль, 2015	491,08	25,62	525,54
август, 2015	420,79	20,72	400,74
сентябрь, 2015	300,50	13,18	220,98
октябрь, 2015	135,82	5,95	62,70
ноябрь, 2015	47,21	2,47	11,46

Графические зависимости, описывающие изменение относительного предела прочности исследуемых составов при растяжении в зависимости от суммарной солнечной радиации представлены на рисунке 2.

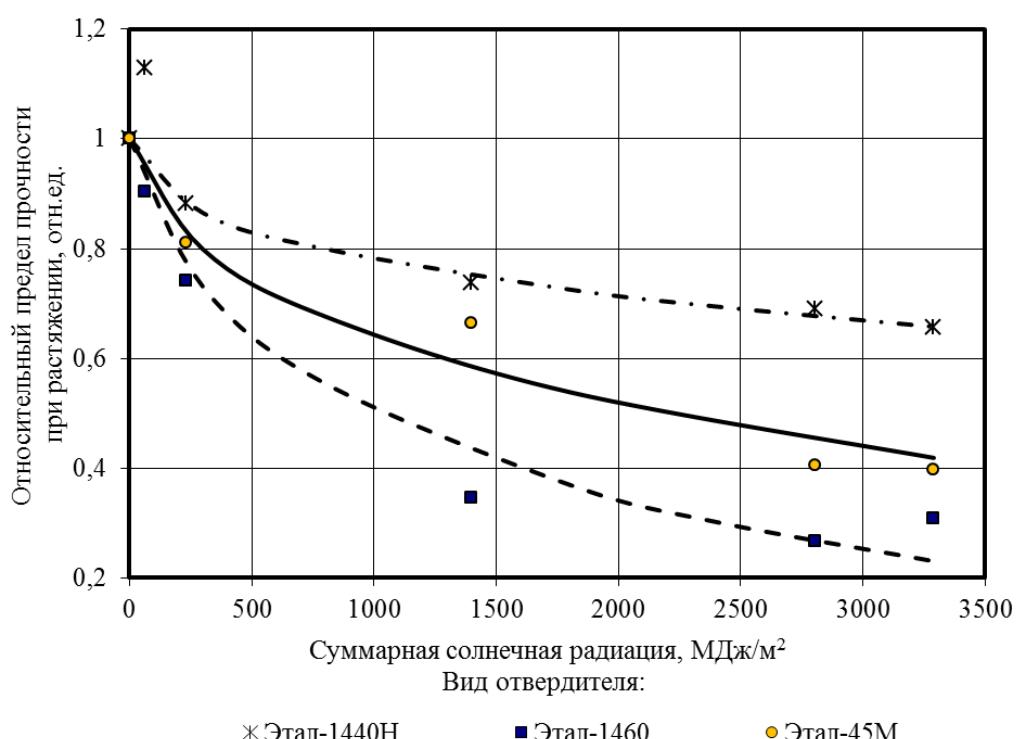


Рис. 2. Изменение относительного предела прочности эпоксидных композитов при растяжении в зависимости от интенсивности суммарной солнечной радиации.

Зависимость (1) также использовалась для описания изменения в процессе натурного климатического воздействия и относительного удлинения эпоксидных композитов при максимальной растягивающей нагрузке (см. рис. 3).

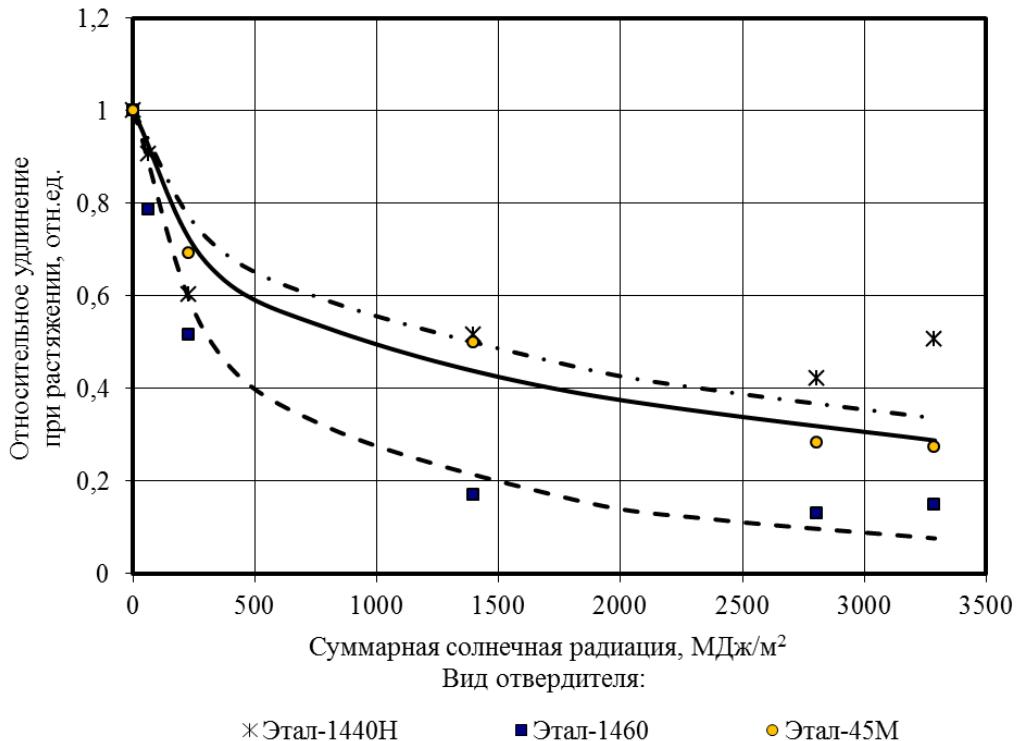


Рис. 3. Изменение относительного удлинения эпоксидных композитов при растяжении в зависимости от интенсивности суммарной солнечной радиации.

Значения коэффициентов аппроксимирующих зависимостей и коэффициентов детерминации R^2 приведены в таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов уравнения (1), описывающего влияние длительности экспонирования (T), интенсивности суммарной солнечной радиации (Q) и ультрафиолетовых излучений диапазона А (U_A) и В (U_B) на прочностные и деформативные характеристики эпоксидных композитов ЭК, экспонированных в умеренном климате (г. Саранск)

Вид отвердителя	Коэффициенты уравнения	Значения коэффициентов уравнения (1) в зависимости от варьируемых факторов		
		α_X	β_X	R^2
1	2	3	4	5
Относительный предел прочности при растяжении				
Этал-1440	T , сутки	$-2,69 \times 10^{-3}$	0,876	0,754
	Q , МДж/м ²	$-1,15 \times 10^{-2}$	0,444	0,773
	U_A , МДж/м ²	$-4,21 \times 10^{-2}$	0,448	0,774
	U_B , кДж/м ²	$-3,78 \times 10^{-2}$	0,301	0,858

Продолжение таблицы 3

Этал-1460	T , сутки	$-8,97 \times 10^{-2}$	1,284	0,925
	Q , МДж/м ²	$-7,96 \times 10^{-3}$	0,644	0,975
	U_A , МДж/м ²	$-5,28 \times 10^{-2}$	0,649	0,976
	U_B , кДж/м ²	$-1,22 \times 10^{-1}$	0,295	0,982
Этал-45М	T , сутки	$-1,10 \times 10^{-3}$	1,161	0,971
	Q , МДж/м ²	$-8,88 \times 10^{-3}$	0,566	0,967
	U_A , МДж/м ²	$-4,65 \times 10^{-2}$	0,572	0,967
	U_B , кДж/м ²	$-4,15 \times 10^{-2}$	0,380	0,957
Относительное удлинение при растяжении				
Этал-1440	T , сутки	$-4,89 \times 10^{-3}$	1,055	0,989
	Q , МДж/м ²	$-2,33 \times 10^{-2}$	0,529	0,995
	U_A , МДж/м ²	$-8,77 \times 10^{-2}$	0,533	0,995
	U_B , кДж/м ²	$-1,43 \times 10^{-1}$	0,249	0,997
Этал-1460	T , сутки	$-5,22 \times 10^{-3}$	0,908	0,983
	Q , МДж/м ²	$-3,15 \times 10^{-2}$	0,452	0,987
	U_A , МДж/м ²	$-1,49 \times 10^{-1}$	0,456	0,987
	U_B , кДж/м ²	$-2,92 \times 10^{-1}$	0,226	0,994
Этал-45М	T , сутки	$-4,71 \times 10^{-3}$	0,970	0,987
	Q , МДж/м ²	$-2,62 \times 10^{-2}$	0,477	0,986
	U_A , МДж/м ²	$-1,06 \times 10^{-1}$	0,482	0,986
	U_B , кДж/м ²	$-9,56 \times 10^{-2}$	0,321	0,981

Из анализа графических зависимостей установлено, что натурное экспонирование эпоксидных композитов сопровождается существенным снижением деформативных характеристик (см. рис. 3), что свидетельствует об их охрупчивании. Через год натурных испытаний относительное удлинение образцов в зависимости от вида отвердителя снизилось на 85, 73 и 49%, соответственно, для композитов, отверждаемых Этал-1460, Этал-45М и Этал-1440.

По результатам проведенных исследований выявлено, что наиболее высокой стойкостью в условиях воздействия натурных климатических факторов обладает эпоксидный композит на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и отвердителя Этал-1440. Для данного состава зафиксировано наименьшее снижение предела прочности и удлинения при растяжении как в абсолютных (рис. 1), так и в относительных величинах (см. рис. 2 - 3).

Возможность параллельной фиксации актинометрических параметров позволяет оценить влияние интенсивности солнечной радиации и суммарного ультрафиолетового

излучения диапазонов А и В на упруго-прочностные показатели эпоксидных композитов. Наиболее интенсивное изменение характеристик происходит, как правило, на начальном этапе экспонирования. Последующее воздействие климатических факторов приводит к более плавному снижению прочностных и деформативных характеристик исследуемых составов эпоксидных композитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернин И. З., Смехов Ф. М., Жердев Ю. В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. – 232 с.
2. Соломатов В. И., Селяев В. П. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
3. Соломатов В. И., Селяев В. П. Соколова Ю. А. Химическое сопротивление материалов. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: РААСН, 2001. – 284 с.
4. Хозин В. Г. Усиление эпоксидных полимеров. – Казань: Дом печати, 2004. – 446 с.
5. Низина Т. А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 258 с.
6. Селяев В. П., Иващенко Ю. Г., Низина Т. А. Полимербетоны: монография. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – 284 с.
7. Павлов И. Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. – М.: Химия, 1982. – 220 с.
8. Эмануэль Н. М., Бучаченко А. Л. Химическая физика старения и стабилизации полимеров. – М.: Наука, 1982. – 360 с.
9. Кириллов В. Н., Старцев О. В., Ефимов В. А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения // Авиационные материалы и технологии: юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). – М.: ВИАМ, 2012. – С. 412–423.
10. Грасси Н., Скотт Дж. Деструкция и стабилизация полимеров / пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 446 с.
11. Низина Т. А., Селяев В. П., Низин Д. Р., Артамонов Д. А. Климатическая стойкость композиционных строительных материалов в натурных условиях эксплуатации [Электронный ресурс] // Фундаментальные и прикладные исследования коррозии и старения материалов в климатических условиях: проблемы и перспективы: сборник докладов II Всероссийской научно-технической конференции, 2015. – Режим доступа: <http://conf.viam.ru/conf/173/proceedings>.

12. Низина Т. А., Селяев В. П., Низин Д. Р., Артамонов Д. А. Климатическая стойкость полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 34–42.
13. Низин Д. Р., Артамонов Д. А., Чернов А. Н., Низина Т. А. Результаты натурных испытаний полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных связующих // Огарёв-online. Раздел «Технические науки». – 2014. – Спецвыпуск. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/rezultaty-naturalnykh-ispytanijj-polimernykh-kompozicionnykh-materialov-na-osnove-ehpoksidnykh-svyazuyushchikh>.
14. Каблов Е. Н., Старцев О. В., Кротов А. С., Кириллов В. Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – № 1. – С. 34–40.
15. Хозин В. Г., Воскресенский В. А. Старение отверженных эпоксидных смол // Пластические массы. – 1969. – № 6. – С. 53–55.
16. Низина Т. А., Селяев В. П. Материальная база вуза как инновационный ресурс развития национального исследовательского университета // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: матер. Всеросс. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 115–121.
17. Старцев О. В., Вапиров Ю. М., Кирюшкин С. Г., Торсуева Е. С. Физико-химические процессы в полиэтилене при старении в естественных и искусственных условиях // Докл. АН СССР, 1985. – Т. 280. – № 4. – С. 946–950.

КОРОТИН А. И., ЛАЗАРЕВ А. Л., СВЯТКИНА Г. Н., ТАНЯКИН И. А.

**ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Аннотация. Приведены основные принципы контроля качества соединений строительных конструкций в современных условиях. Представлены реальные результаты работ по разрушающему контролю качества ответственных конструкций.

Ключевые слова: структура материала, контроль качества, методы контроля строительных материалов, изделий и конструкций, разрушающие испытания.

KOROTIN A. I., LAZAREV A. L., SVYATKINA G. N., TANYAKIN I. A.

DESTRUCTIVE TESTING METHODS

FOR QUALITY CONTROL OF CONSTRUCTION STRUCTURES

Abstract. The article considers the main principles of quality control of construction joints in the modern conditions. The test results of destructive quality control of critical structures are presented.

Keywords: material structure, quality control, methods of testing building materials, products and structures, destructive tests.

Надежность и долговечность строительных конструкций не возможна без обеспечения надежной совместной работы их элементов, без потери прочности, жесткости, устойчивости и пространственной геометрической их неизменности. Выполнение узлов конструкций зачастую обеспечивается объединением в одно целое материала конструкции и соединительного элемента. Для обеспечения надежности конструкций и узлов должны применяться методы контроля и испытания материала конструкции и соединительных элементов узлов. Качество материала определяется состоянием его структурных составляющих как на микро, так и на макроуровнях.

Структура материала определяется его внутренним строением. Внутреннее строение строительных материалов определяется пространственным расположением частиц разной степени дисперсности (измельченности) с совокупностью устойчивых взаимных связей и порядком сцепления их между собой. Кроме того, в понятие структуры входит расположение пор, капилляров, поверхностей раздела фаз, микротрещин и других структурных элементов.

Качество строительных материалов определяется совокупностью свойств, удовлетворяющих определенные потребности в соответствии с назначением конкретного строительного материала. Уровень качества определяется соответствующими показателями, представляющими собой количественную характеристику одного или нескольких свойств

конкретных строительных материалов, которые определяют их качество применительно к конкретным условиям изготовления и эксплуатации. Показатели по количеству характеризуемых параметров качества подразделяются на единичные и комплексные. Единичный показатель качества характеризуется только одним свойством (например, прочность или твердость). Комплексный показатель характеризуется сразу несколькими значимыми свойствами материала. При этом изделие или конструкция считается качественной только в том случае, если весь комплекс оцениваемых свойств удовлетворяет установленным требованиям качества. Характерными комплексными показателями качества материала являются химический состав, физико-механические свойства материала, его микро- и макроструктура. Комплексные показатели качества устанавливаются нормативными документами [1].

Свойства строительных материалов, определяющие их качество, зависят от структуры материалов, которая в свою очередь, зависит от их химического состава. Поэтому при контроле качества строительных материалов и изделий определяют свойства и состав, а также оценивают их структуру.

Существуют различные методы изучения структуры материалов. Макроструктура, в целом, характеризуется их фазовым составом. Исследование макроструктуры выполняют, как правило, органолептическими методами. При визуальном осмотре выявляют зоны и участки, различающиеся пористостью, окраской, зерновым составом и другими особенностями, а также различные дефекты макроструктуры. Анализ и исследование микроструктуры производится с помощью разнообразной приборной базы. Выделяют три типа микроструктур: кристаллическую, аморфную и смешанную.

Применяемые методы контроля качества строительных материалов в современных условиях подразделяются на разрушающие и неразрушающие [2]. По стадиям определения качества строительных материалов и конструкций различают контроль предварительный, промежуточный и окончательный. При предварительном контроле оценивается качество исходных компонентов, при промежуточном — соблюдение установленного технологического процесса производства или монтажа конструкций. Окончательный контроль определяет качество конечного продукта, которым может быть строительный материал, изделие, конструкция или здание (сооружение) и соответствие их определенным стандартам. Изделия и конструкции, имеющие дефекты и отклонения от стандартов считаются браком [3].

В работе выполнен комплексный контроль качества сварных соединений газопровода, выполненного автоматической сваркой на объекте «Южный коридор» из труб класса прочности К60 диаметром 1420 мм и толщиной стенки 21,6 мм. Контроль включал в себя все

три этапа: предварительный (контроль сварочных материалов), промежуточный (контроль процесса сварки) и окончательный (разрушающий контроль сварных соединений) [4]. Для проверки качества выполнения шва и обеспечения внутренней геометрии слоев выполнялся контроля сварного соединения по макрошлифам.

Для получения образцов для испытаний из каждого пятисотого стыка вырезают элемент для получения макрошлифа (рис. 1). Осуществляется шлифование и травление поверхности для проведения испытаний. Заключение по результатам испытаний сводится в типовую таблицу (см. табл. 1).

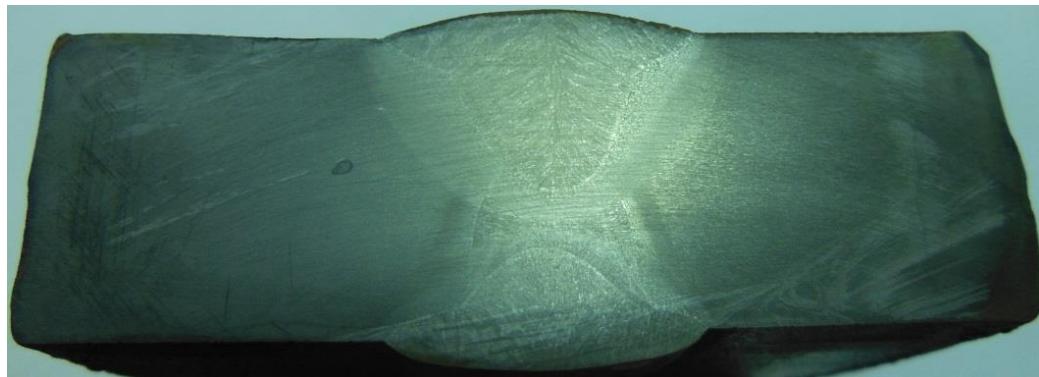


Рис. 1. Макрошлиф для исследования геометрических параметров сварного соединения.

Таблица 1

**Протокол оценки геометрических параметров сварного шва
и сплошности соединения по макрошлифам**

Номер соединения		№КСС-13, стык №Б-800				
Основной металл		Труба Ø1420x21,6 мм из стали класса прочности К60				
Сварочный материал		OK Autrod 12.24, Ø3,0 мм + флюс OK Flux 10.71				
Методика испытаний		СТО Газпром 2-2.2-115-2007				
Тип образца		Макрошлиф				
Номер образца	Геометрические параметры шва					
	a – перекрытие слоев шва. мм	c – смещение осей слоев от условной оси , мм	h_h – глубина проплавления первого наружного слоя шва, мм	h_b – глубина проплавления внутреннего слоя шва, мм	B_h – ширина облицовочного слоя шва, мм	B_b – ширина внутреннего слоя шва, мм
КСС-13	3,7	1,0	12,7	10,3	21,7	21,8
Требования	$\geq 3,0$	1,0	$> 12,3$	$\leq 12,3$	$20,0 \pm 3,0$	$20,0 \pm 3,0$

Заключение: по результатам проведенных измерений геометрических размеров шва стыковое сварное соединение соответствует требованиям СТО Газпром 2-2.2-115-2007.

Нормируемые параметры находятся в пределах допуска, регламентированного НД.

Несплавлений, нор, шлаковых включений, выходящих на поверхность шлифа, не обнаружено.

Интересным примером разрушающих испытаний болтовых соединений металлоконструкций является работа, выполненная авторами настоящей статьи, по испытанию болтов M27x140 класса прочности 10.9 в комплекте с гайками и шайбами производства ММК-МЕТИЗ. Исследование партии болтов включало следующие испытания [5; 6]: определение твердости; испытание болтов на разрыв на косой шайбе; определение коэффициента закручивания (болтокомплект).

Измерения твердости по методу Бринелля проведены на торце стержней болтов на твердомере Константа. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2
Результаты измерения твердости болтов

Условный № болта	Твердость (измерение в трех точках), НВ		
	1	2	3
1	340	347	351
2	344	342	348
3	359	360	355

По результатам испытаний был сделан вывод, что исследованные болты M27x140 по твердости удовлетворяют требованиям, предъявляемым ГОСТ Р52643-2006 к высокопрочным болтам из стали 40Х класса прочности 10.9.

Определение коэффициента закручивания проводили на пяти болтокомплектах (болт M27x140, гайка M27, две шайбы) с применением предельного динамометрического ключа. Отсчет величины осевого усилия натяжения испытываемого болта производился по шкале измерительного прибора, отградуированного с ценой деления до 500 Нм. Испытания проводились по методике, изложенной в ГОСТ 52643- 2006 (приложение Е), с адаптацией под реальные условия испытаний и применяемое оборудование.

Перед проведением испытаний для снижения погрешности болты и гайки специальным образом обрабатывались. Первоначально производилась очистка от технологической смазки и загрязнений окуранием в емкость с бурлящим щелочным раствором при температуре не менее 90 °С на 10-15 мин. Затем смывка остатков щелочного раствора окуранием в емкость с бурлящей водой при температуре не менее 90°С на 10-15 мин и выдержка при температуре не ниже 20 °С до полного высыхания. Смазка производилась окуранием в емкость со смазочным составом из 80 % неэтилированного бензина по ГОСТ Р 51866 и 20% минерального масла при температуре состава 20°C.

Коэффициент закручивания определялся путем измерения фактического крутящего момента, приложенного к гайке, в момент достижения в теле болта нормативного усилия натяжения. Была изготовлена оригинальная испытательная установка, смонтированная на

разрывной машине EU 40. Фактический крутящий момент определялся комбинированным устройством на основе динамометра ДПУ-500-2 и динамометрического стрелочного ключа Tohnichi DBR4500N-S.

При проведении испытаний крутящий момент создавался закручиванием гайки со скоростью закручивания не более 10 об/мин. Коэффициент закручивания K определяют по формуле:

$$K = 1000 \frac{M}{Nd} \quad (1)$$

где M – фактический крутящий момент, приложенный к гайке, создающий в теле болта нормативное усилие натяжения, Н·м; N – нормативное усилие натяжения болта; d – наружный диаметр резьбы болта, равный 27 мм.

Значения нормативных усилий натяжения для болтов различных классов прочности приведены в таблице Е.1 ГОСТ Р 52643-2006. Согласно указанной таблицы, для болтов М27 класса прочности 10.9 нормативное усилие натяжения болта равно 335000 Н.

Исследованные болтокомплекты имеют коэффициенты закручивания 0,168; 0,160; 0,160; 0,170; 0,165, среднее значение $K_3=0,16$; крутящий момент 1520, 1450, 1450, 1540 и 1490 Нм, т.е. удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 52643-2006 ($0,14 < K < 0,17$).

Определение прочности на разрыв на косой шайбе проводилось при испытании пяти болтов с применением косой шайбы, изготовленной в соответствии с положениями п.8.6 ГОСТ Р 52627-2006. Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3
Результаты испытания болтов на разрыв на косой шайбе

Условный № болта	Начальная площадь поперечного сечения, мм^2	Нагрузка разрушающая, Н	Прочность на разрыв, $\text{Н}/\text{мм}^2$	Место разрушения	Результат испытания (соответствует/не соответствует требованиям ГОСТ Р 52627-2006)
1	426,2	467000	1096	Стержень болта по резьбе	Соответствует
2	426,2	490000	1150		Соответствует
3	426,2	490000	1150		Соответствует
4	426,2	481600	1130		Соответствует
5	426,2	490100	1150		Соответствует

Результаты эксперимента наглядно демонстрируют актуальность проведения разрушающих испытаний образцов-спутников элементов и узлов строительных конструкций,

например, для отработки технологии изготовления конструкций и узлов. Подобные методы испытаний дают четкую визуализацию работы элементов под эксплуатационными нагрузками. Кроме того, в работе показана необходимость адаптации методик к реальным условиям при проведении испытаний и применяемому испытательному оборудованию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корчагина О. А. Материаловедение: оценка качества строительных материалов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.
2. Коротин А. И., Лазарев А. Л., Святкина Г. Н. [и др.] Ультразвуковой контроль металлических конструкций: учебное пособие. – Саранск.: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 112 с.
3. Коротин А. И., Лазарев А. Л., Святкина Г. Н. Применение УЗ методов контроля для оценки качества соединений металлических конструкций в современных [Электронный ресурс] // Огарев-online. Раздел «Технические науки». – 2015. – № 13. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/primenenie-ultrazvukovyx-metodov-kontroljandy-a-ocenki-kachestva-soedinenij-metallicheskix-konstrukcij-v-sovremennyx-usloviyax>.
4. СТО Газпром 2-2.2-115-2007 Инструкция по сварке магистральных газопроводов с рабочим давлением до 9,8 МПа включительно.
5. ГОСТ Р 52643-2006 Болты и гайки высокопрочные и шайбы для металлических конструкций. Общие технические условия.
6. ГОСТ Р 52627-2006 (ИСО 898-1:1999) Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний.

ЧЕРНОВ А. Н., НИЗИНА Т. А., АНДРОНЫЧЕВ Д. О., НИЗИН Д. Р.,

МОРОЗОВ М. А., СВЕТЛИКОВА Н. С., ВАВИЛИН А. Н.

АНАЛИЗ ЭКЗОТЕРМИЧНОСТИ ПРОЦЕССА ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ

КОМПОЗИТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ НАПОЛНЕНИЯ

И ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА МИКРОКАЛЬЦИТА¹

Аннотация. Приведены результаты исследования влияния различных фракций и степени наполнения микрокальцитом на процесс отверждения эпоксидных композитов. Проанализировано изменение максимальной температуры разогрева и времени ее достижения в зависимости от фракционного состава и массового содержания наполнителя в составе полимерных композитов.

Ключевые слова: эпоксидный композит, экзотермичность, наполнитель, микрокальцит, кинетика твердения.

CHERNOV A. N., NIZINA T. A., ANDRONYCHEV D. O., NIZIN D. R.,

MOROZOV M. A., SVETLIKHOVA N. S., VAVILIN A. N.

**HARDENING OF EPOXY COMPOSITES DEPENDING ON THE DEGREE
OF MICROCALCITE FILLING AND FRACTIONAL COMPOSITION:**

AN ANALYSIS OF THE PROCESS EXOTHERMICITY

Abstract. The article provides the test results of the effect of different fractions and the degree of filling with microcalcite on the hardening of epoxy composites. The change in the maximum temperature of heating and the time of its attainment depending on the fractional composition and the mass content of the filler in the composition of polymer composites is analyzed.

Keywords: epoxy composite, exothermicity, filler, microcalcite, hardening kinetics.

Уже несколько десятилетий для защиты строительных конструкций зданий и сооружений применяются полимерные покрытия на основе эпоксидных смол, обладающие высокой стойкостью к воздействию агрессивных факторов [1–4]. Основной стадией технологических процессов получения эпоксидных композитов является их отверждение, осуществляющееся с помощью отвердителей – соединений, вызывающих превращение жидких реакционноспособных олигомеров в полимеры. Процесс отверждения эпоксидных смол зависит от типа используемого отвердителя [5; 6]. Аминные отвердители, относящиеся к «холодному типу», не требуют дополнительного разогрева, что упрощает производство работ. Однако происходящая в процессе отверждения реакция взаимодействия смолы с

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-33-01008.

отвердителем, нередко сопровождающаяся выделением значительного количества тепла и нагревом компаунда более 200 °С, может приводить к появлению внутренних дефектов и снижению качества композита [5–7]. Максимальная температура нагрева и время ее достижения зависит от температуры окружающей среды, количества и вида смешиваемых компонентов [8; 9].

Наиболее распространенным способом снижения экзотермии является применение различных заполнителей и наполнителей, в качестве которых используются природные и искусственные волокна, маршалит, слюда, мел, углеродные нанотрубки и т.д. [10–12]. Широкий ассортимент существующих наполнителей позволяет получать различные составы композитов в зависимости от функционального назначения. Одним из наиболее перспективных на сегодняшний день наполнителей для эпоксидных смол является микрокальцит (микромрамор) – минеральный наполнитель, получаемый путем дробления отходов производства белого мрамора. Благодаря высокой степени белизны, постоянству физико-химических характеристик, низкой химической активности и высокой стойкости к ультрафиолетовому излучению микрокальцит широко используется в производстве пластмасс, резин, стекла и строительных материалов.

В рамках проведенного эксперимента в состав эпоксидного двухкомпонентного компаунда марки Этал-27НТ/12НТ производства АО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ» вводился микромрамор 3 различных фракций:

- 1) МКМ1 – крупная фракция (0,5÷1 мм);
- 2) МКМ2 – средняя фракция (0,2÷0,5 мм);
- 3) МКМ3 – мелкая фракция (менее 0,2 мм).

Степень наполнения состава варьировалась от 40 до 80% от уровня предельного наполнения, который менялся в зависимости от используемой фракции наполнителя (табл. 1). В таблице 2 представлен план экспериментального исследования. Были исследованы составы, получаемые как с применением одной, так и двух фракций наполнителя, при обеспечении условия $V_1 + V_2 + V_3 = 1$.

Таблица 1

Уровни варьирования переменных факторов

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

Таблица 2

План эксперимента в кодированных величинах

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

На основании полученных данных были построены кинетические кривые изменения температуры эпоксидных составов в процессе отверждения в условиях теплоизолированной системы. На рисунке 1 представлены кинетические кривые для составов, наполненных микромрамором крупной фракции с различной степенью наполнения. Полученные данные свидетельствуют о значительном снижении температуры экзотермической реакции с увеличением доли наполнителя. Максимальное снижение температуры реакции зафиксировано для состава со степенью наполнения 80% и составило 52 °С по сравнению с ненаполненным составом, что соответствует 35% от первоначальной температуры. При этом длительность отверждения увеличилась более, чем в 3 раза. Следует отметить, что скорость нагрева до максимальной температуры также снизилась в 3 раза. Те же параметры для составов с меньшей степенью наполнения изменились в меньшей степени. Таким образом, с увеличением степени наполнения изменения в кинетических характеристиках становятся более интенсивными. Вероятно, частицы наполнителя препятствуют сшиванию молекул полимера, нарушая объемную структуру полимерной матрицы и переводя ее в пленочное состояние.

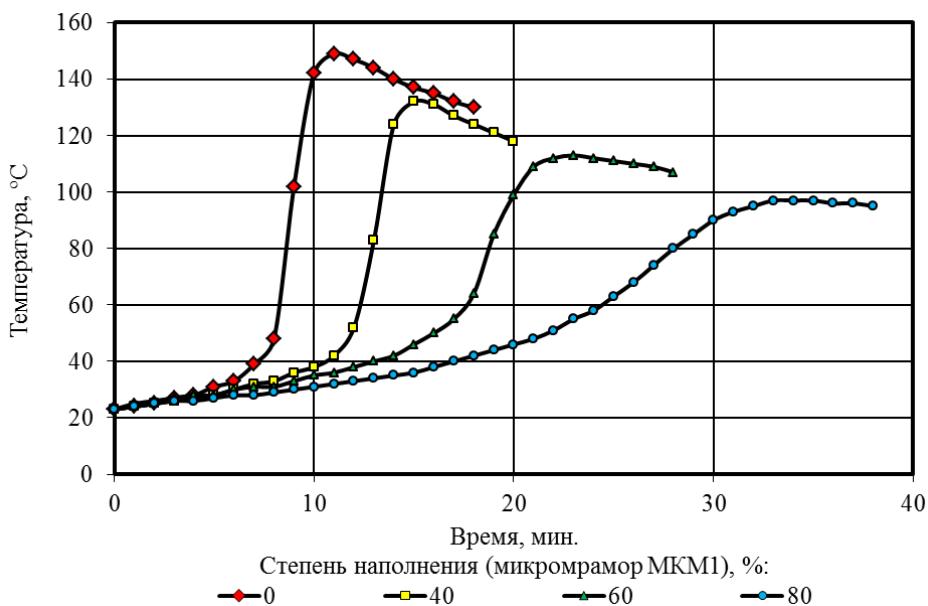


Рис. 1. Кинетика набора температуры эпоксидными композитами в процессе отверждения в зависимости от степени их наполнения микромрамором крупной фракции (МКМ1).

Кинетические кривые набора температуры эпоксидными композитами в процессе отверждения для других фракций наполнителя представлены на рис. 2 – 3; сводные кривые, описывающие изменение максимальной температуры разогрева и времени ее достижения, на рис. 4 – 5.

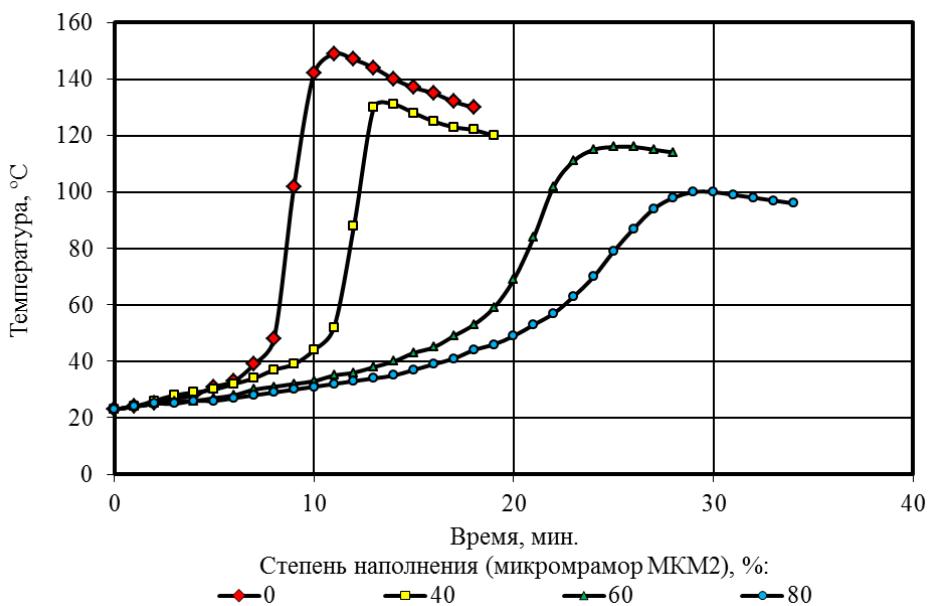


Рис. 2. Кинетика набора температуры эпоксидными композитами в процессе отверждения в зависимости от степени их наполнения микромрамором средней фракции (МКМ2).

Из анализа измерения максимальной температуры разогрева эпоксидных композитов видно (рис. 4), что для всех составов, за исключением составов с мелким микромрамором

(МКМ3), наблюдается практически линейная зависимость снижения температуры разогрева от степени наполнения. Наибольшую максимальную температуру разогрева имеет состав с мелким и средним (МКМ2 + МКМ3) наполнителями при 40% степени наполнения, а наименьшую при той же степени наполнения – состав, наполненный мелкой фракцией микромрамора.

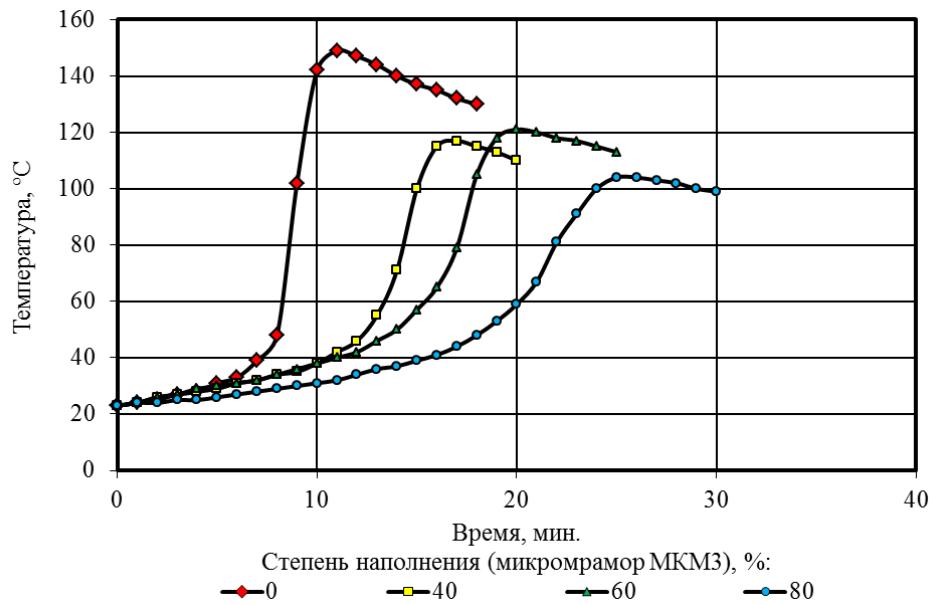


Рис. 3. Кинетика набора температуры эпоксидными композитами в процессе отверждения в зависимости от степени их наполнения микромрамором мелкой фракции (МКМ3).

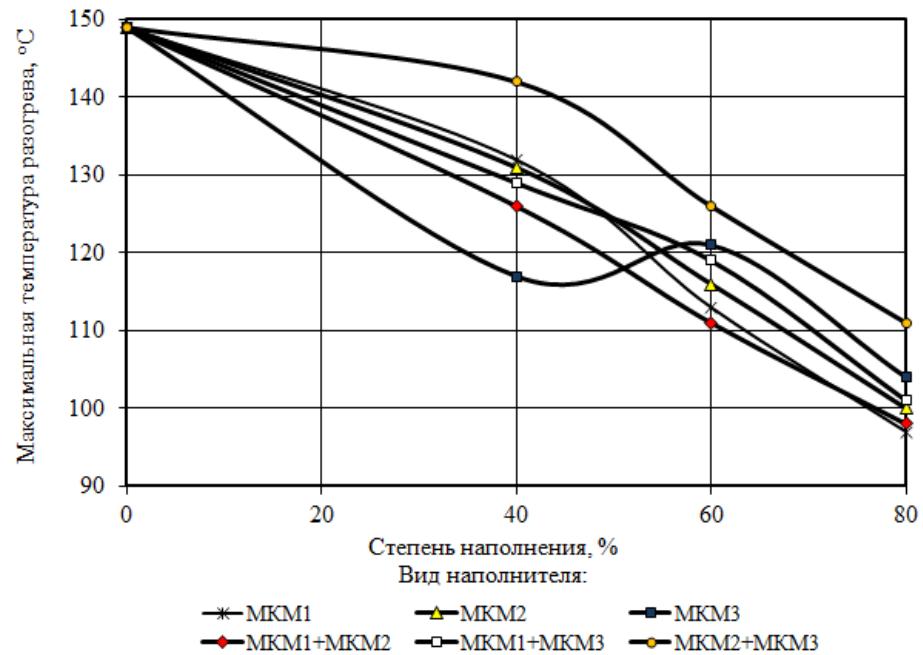


Рис. 4. Зависимость максимальной температуры разогрева эпоксидных составов с различными фракциями наполнителя в процессе отверждения от степени наполнения.

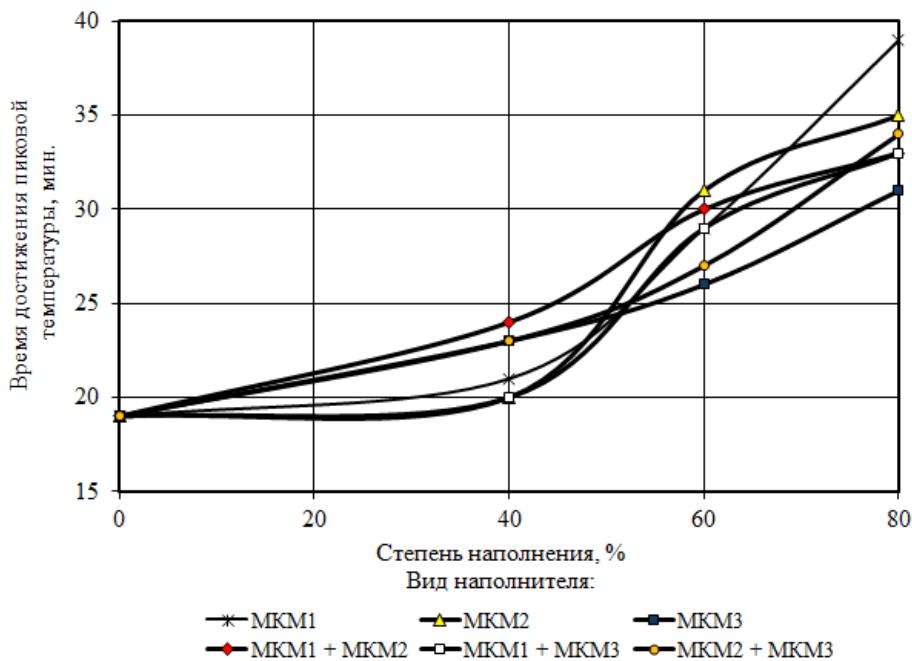


Рис. 5. Зависимость времени достижения максимальной температуры разогрева эпоксидных составов с различными фракциями наполнителя в процессе отверждения от степени наполнения.

Анализ времени достижения максимальной температуры разогрева эпоксидных составов показал (рис. 5), что наибольший прирост данного показателя наблюдается в интервале от 40 до 80%. Наиболее медленно процесс отверждения при степени наполнения 40% протекает для составов, наполненных MKM3, а также смесью микромрамора фракций MKM1+MKM2 или MKM2+MKM3. При повышении степени наполнения до 80% наблюдается существенное замедление процесса отверждения для композитов, наполненных MKM1 (рис. 5), сопровождаемого самой низкой температурой разогрева смеси (рис. 4). Наиболее быстро процесс отверждения в данном случае идет для состава, наполненного самой мелкой фракцией микрокальцита, размер частиц которого не превышает 0,2 мм.

В результате проведенных исследований, установлено, что введение в состав связующего микрокальцита позволяет снизить температуру экзотермической реакции и время ее достижения. Практически для всех составов положительный эффект от введения микромрамора повышается со степенью наполнения. При этом фракционный состав применяемого наполнителя оказывает существенное влияние как на температуру экзотермической реакции, так и на время ее достижения. Учитывая значительное снижение стоимости эпоксидных композитов при введении микромрамора, введение его в состав связующего оправдано для всех исследуемых составов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хозин В. Г. Усиление эпоксидных полимеров. – Казань: Дом печати, 2004. – 446 с.
2. Селяев В. П., Низина Т. А., Уткина В. Н. Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов, изделий, конструкций: учеб. пособие. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. – 48 с.
3. Низина Т. А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 260 с.
4. Селяев В. П., Иващенко Ю. Г., Низина Т. А. Полимербетоны: монография. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – 284 с.
5. Мошинский Л. Эпоксидные смолы и отвердители. – Тель-Авив: Аркадия пресс, 1995. – 370 с.
6. Калинина Л. С., Моторина М. А., Никитина Н. И., Хачапуридзе Н. А. Анализ конденсационных полимеров. – М.: Химия, 1984. – 296 с.
7. Низина Т. А., Морозов М. А., Низин Д. Р., Чернов А. Н. Экзотермичность наполненных эпоксидных композитов // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 3(28). – С. 68–76.
8. Говарикер В. Р., Висванатхан Н. В., Шридхар Дж. Полимеры: научное издание. – М.: Наука, 1990. – 396 с.
9. Полимерные композиционные материалы. Свойства. Структура. Технологии / под ред. А. А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2009. – 560 с.
10. Селяев В. П., Низина Т. А., Лазарев А. Л., Ланкина Ю. А., Цыганов В. В. Функционально-градиентные покрытия на основе полимерных связующих // Известия ВУЗов. Строительство. – 2007. – № 7. – С. 36–40.
11. Хозин В. Г. Влияние наполнителей на свойства эпоксидных материалов // Клей. Герметики. Технологии. – 2006. – № 11. – С. 12–22.
12. Низина Т. А., Чернов А. Н., Морозов М. А., Низин Д. Р., Попова А. И. Влияние гранулометрического состава микромрамора на физико-механические характеристики наполненных эпоксидных композитов // Вестник МГСУ. – 2016. – № 9. – С. 98–107.

КОРОТИН А. И., КАРЕВ Д. В., СЕДИНА Е. А., СЕДИН Н. С.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ

КОМПЛЕКСНЫХ ДОБАВОК В ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНАХ

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования по введению химических добавок с целью улучшения свойств цементных композиций. Установлено, что используемые химические добавки оказывают значительное влияние на повышение реологических характеристик модифицированных цементных композиций и совершенствование комплекса их основных физико-технических свойств.

Ключевые слова: неорганические минеральные вещества, комплексные химические добавки, эффективные сырьевые смеси, физико-технические свойства бетона.

KOROTIN A. I., KAREV D. V., SEDINA E. A., SEDIN N. S.

THE USE OF COMPLEX ADDITIVES IN CEMENT CONCRETES: CURRENT ISSUES

Abstract. The paper presents the test results of the use of chemical additives in cement compositions. It has been established that the chemical additives have a significant effect on the improving of rheological characteristics and basic physical and technical properties of modified cement compositions.

Keywords: inorganic mineral substances, complex chemical additives, effective raw mixtures, physical and technical properties of concrete.

Материалы на основе неорганических минеральных веществ являются значимой составляющей современного производства строительных материалов, изделий и конструкций для строительной отрасли и останутся таковыми в обозримом будущем. В современных условиях развитие и производство таких материалов постоянно совершенствуются с учетом меняющихся и усложняющихся условий эксплуатации. В связи с этим постоянно улучшаются требования к изготавливаемым из них конструкциям, поэтому объем материалов на основе минеральных вяжущих постоянно растет [1]. Успехи в этом направлении достигаются не только в результате применения цементов высоких марок, таких как ЦЕМI-32,5Н – ЦЕМI-52,5Н и выше, но и за счет введения комплексных химических добавок, пластификаторов, суперпластификаторов.

В последнее время получены бетоны прочностью более 100 МПа путем совместного применения суперпластификаторов и многокомпонентных вяжущих [2]. Приоритетным направлением в разработке эффективных сырьевых смесей является введение в вяжущее модифицирующих добавок без ухудшения физико-технических свойств бетона на их основе. При этом введение добавок способствует приобретению бетоном новых свойств, которые

требуются для производства конкурентоспособных и качественных материалов и конструкций.

Комплексные добавки многофункциональны и способны влиять сразу на несколько характеристик бетонной смеси и бетона. Применение комплексных химических добавок позволяет добиваться универсальности их действия в бетонных смесях и бетонах разного состава, приготовленных на основе минеральных клинкерных вяжущих. При выборе добавки и определении дозировки необходимо четко представлять роль каждого компонента в полифункциональном модификаторе. Добавки в поликомпонентные вяжущие могут вводиться на стадии помола, домола при окончательном получении комплексного вяжущего или на стадии перемешивания сырьевой смеси с водой затворения. При правильном введении добавок их влияние весьма эффективно. Они сокращают сроки схватывания цемента, улучшают удобоукладываемость (растекаемость) бетонной смеси, воздействуют на процессы ее твердения, повышают прочность, морозостойкость, сульфатостойкость бетона и т. д [3].

Факторы, определяющие водопотребность цемента, комплексных вяжущих на его основе хорошо известны, однако достичь существенного снижения водопотребности в процессе производства вяжущего весьма затруднительно. Поэтому в настоящее время для снижения водопотребности сырьевых смесей на основе поликомпонентных клинкерных вяжущих используют пластифицирующие, суперпластифицирующие и комплексные добавки.

Кроме того, известно, что в условиях современного производства значительную часть себестоимости бетонных и железобетонных изделий составляют затраты, связанные с ускорением твердения бетона и оборачиваемостью оснастки. Поэтому экономическую значимость и целесообразность в последнее время приобретает использование в технологии производства монолитного и товарного бетона, а также бетонных и железобетонных изделий и конструкций добавок-ускорителей твердения [4]. Благодаря их эффективному и грамотному применению, возможно достичь повышения прочности бетона в первые сутки твердения без тепловой термообработки или по сокращенным ее режимам. Немаловажное значение в строительном производстве бетонных и железобетонных изделий имеет и обеспечение высокого качества их поверхностей, чтобы достичь ее полной заводской готовности. Это позволит снизить трудоемкость отделочных работ на 20–30% [5].

В работе было проведено исследование по влиянию химических добавок на изменение прочности цементных композиций. Для проведения эксперимента использовали комплексные добавки «Хидетал» и «Супранафт» группы предприятий СКТ-СТАНДАРТ, обладающие пластифицирующими и ускоряющими твердение свойствами.

Пластифицирующее действие применяемых комплексных добавок на реологические свойства цементного теста определяли с помощью стандартного цилиндра Суттарда с размерами $\varnothing = 50$ мм, $H= 100$ мм. По данным производителя, добавка «Хидетал» обладает водоредуцирующими, пластифицирующими свойствами, сохраняет первоначальную подвижность бетонной смеси более длительное время, способствует ускоренному набору ранней прочности, повышает морозостойкость и водонепроницаемость. Добавка «Супранафт», в первую очередь, является эффективным ускорителем и пластификатором.

Модифицирующие добавки вводились в цемент в количестве 0,2%, 0,5%, 1%, 2% от массы вяжущего в сухом виде. Цементные композиции изготавливались по равному В/Ц. Исходное водоцементное отношение было определено по стандартной растекаемости цементного теста (51-52 мм) и составило 0,3. Изготовленные образцы выдерживались в нормальных влажностных условиях (НВУ), а затем испытывались на прочность при сжатии в возрасте 3, 14, 28 суток на гидравлическом прессе (ГОСТ 8.136-74) в соответствии с [6].

В итоге установлено, что с увеличением дозировки добавок наблюдается повышение подвижности цементного теста и снижение прочности у всех рассматриваемых образцов. У составов с добавкой «Хидетал» показатель подвижности значительно выше, чем у цементного теста с добавкой «Супранафт». Оптимальное содержание добавки «Хидетал» по результатам эксперимента составляет 0,8-1%. При этой дозировке в цементных композитах с неизменным В/Ц подвижность увеличивается на 40–50% при незначительном (до 5%) снижении прочности. Оптимальное содержание добавки «Супранафт» составляет 0,5-0,7%. При этой дозировке в цементных композитах с неизменным В/Ц подвижность увеличивается на 15–20%, прочность остается на уровне контрольных составов. Снижение В/Ц в равноподвижных цементных композициях прочность с добавкой «Хидетал» увеличивается на 10–20%, с добавкой «Супранафт» – до 35%.

В результате проведенного эксперимента были получены высокоэффективные цементные композиции с широким диапазоном варьирования их подвижности и прочности. Оптимизированы их составы и изучены основные физико-технические свойства. В итоге было установлено что, используемые химические добавки «Хидетал» и «Супранафт» оказывают значительное влияние на повышение реологических возможностей модифицированных цементных композиций и совершенствование комплекса их основных физико-технических свойств. Снижение водоцементного соотношения позволяет достичь значительного роста прочности цементных композиций, ускорить набор прочности, что дает возможность повысить эффективность используемого технического оборудования. Более быстрый набор прочности модифицированных цементных композиций позволяет ускорить отправку конечной продукции потребителю и, как следствие, снизить ее себестоимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буренина О. Н., Давыдова Н. Н., Андреева А. В., Даваасенгэ С. С., Саввинова М. Е. Исследование влияния комплексных минеральных модифицирующих добавок, включая нанодобавки, на свойства мелкодисперсного бетона // Актуальные вопросы технических наук: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Пермь, апрель 2015 г.). – Пермь: Зебра, 2015. – С. 101–104.
2. Селяев В. П., Куприяшкина Л. И., Болдырев А. А. Влияние наполнения и технология приготовления растворов // Вестник отделения строительных наук Российской Академии архитектуры и строительных наук. – Вып. 10. – 2006. – С. 222–226.
3. ГОСТ 24211-2003 Добавки для бетонов и строительных растворов.
4. Минаев Э. А. Добавки для бетона «Компания BESTO» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.avtobeton.ru/dobavki.html>.
5. Коротин А. И., Карев Д. В., Святкина Г. Н., Седина Е. А., Седин Н. С. Улучшение составов пенобетона путем применения различных компонентов // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки Российской Федерации, академика РААСН, доктора технических наук профессора Соломатова Василия Ильича. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – С. 46–48.
6. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

КУПРИЯШКИНА Л. И., ГАРЫНКИНА Е. Н., КУПРИЯШКИНА Е. И., СЕДОВА А. А

**АНАЛИЗ ОСАДКА ПРИ ВЗАЙМОДЕЙСТВИИ НАПОЛНЕННОГО
ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С СОЛЯМИ МАГНИЯ**

Аннотация. Показано влияние степени наполнения цеолитсодержащей породой на прочность цементного композита под воздействием сульфата магния и хлорида магния. Дан анализ показателя pH, полученного в результате взаимодействия цементных композитов с солями магния. Рассмотрено влияние агрессивной среды на содержание свободных ионов магния и кальция в фильтрате осадка.

Ключевые слова: бетон, композиционный материал, соли магния, цеолитсодержащие породы, водородный показатель, хлорид магния, сульфат магния, фильтрат, осадок, прочность, ионы.

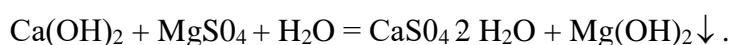
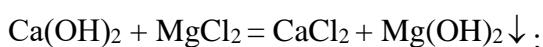
KUPRIYASHKINA L. I., GARYNKINA E. N., KUPRIYASHKINA E. I., SEDOVA A. A.

**ANALYSIS OF SEDIMENTATION AT INTERACTION
OF FILLED CEMENT STONE WITH MAGNESIUM SALTS**

Abstract. The tests show the effect of the degree of filling with zeolite-containing rock on the strength of cement composite at interaction with magnesium sulphate and magnesium chloride. The pH value obtained as a result of the interaction of cement composites with magnesium salts is analyzed. The effect of an aggressive medium on the content of free magnesium and calcium ions in the sediment filtrate is considered.

Keywords: concrete, composite material, magnesium salts, zeolite-containing rocks, hydrogen index, magnesium chloride, magnesium sulfate, filtrate, sediment, strength, ions.

Бетон на сегодняшний день является одним из самых популярных материалов в строительстве. Ежедневно он подвергается воздействию агрессивных сред, частично или полностью разрушаясь. Соли магния $MgCl_2$ и $MgSO_4$ распространены повсеместно: сточные, грунтовые воды, морская вода и т.д. Поэтому при длительном действии этих солей возникает необратимый характер разрушения бетона. Данные соли вызывают магнезиальную коррозию:



Магнезиальная коррозия вызывает разложение гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, а также выпадение осадка – гидроксида магния (рыхлой объемной массы). Все это непосредственно приводит к разрушению бетона [1].

Чтобы выявить процессы, приводящие к разрушению при действии солей магния, были проанализированы осадки, полученные при выдерживании цементного камня в растворах хлорида и сульфата магния различной концентрации в течение 7, 14, 28 суток и изменения прочности.

При проведении эксперимента использовали цементные композиты, наполненные цеолитсодержащими породами на 0; 10; 20; 30 %. Образцы помещали в емкости по 5 шт. и заливали 0,5; 1,5; 2,5 %-ным раствором хлорида магния ($MgCl_2$). В другом варианте – 0,5; 1,0; 1,5 %-ным раствором сульфата магния ($MgSO_4$). Цементные композиты выдерживали в растворах солей 7; 14; 28 суток, следя за изменением концентрации ионов магния и кальция с помощью ионного анализатора РІА-100 и за изменением водородного показателя pH. Прочность композитов испытывали на сжатие на разрывной машине Р-20 со шкалой 4 тонны. Результаты проведенного эксперимента приведены соответственно в таблицах 1, 2.

Состояние водных растворов внешней агрессивной среды и среды железобетонных конструкций (кислой $pH < 7$; нейтральной $pH = 7$; щелочной $pH > 7$) оценивается через концентрацию ионов водорода с помощью водородного показателя pH, который численно равен отрицательному десятичному логарифму концентрации ионов водорода (H^+), выраженной в молях на литр:

$$pH = -\lg(H^+).$$

В железобетонных конструкциях для бетона, имеющего щелочную среду, наиболее опасной является коррозия стальной арматуры. При снижении показателя pH ниже 11,8 в поровой жидкости бетона нарушается пассивация стали, тем самым начинает корродировать арматура. В бетоне появляются сетки трещин, поры, новообразования, позволяющие проникать агрессивным хлорид-ионам и кислороду к арматуре. Бетон начинает разрушаться. Вследствие чего мы можем утверждать, что pH-показатель является неотъемлемым элементом при оценке состояния железобетонных конструкций [2].

Анализ фильтрата в растворах хлорида (табл. 1) и сульфата (табл. 2) магния показывает, что постепенно происходит повышение pH с 6 (контрольные составы) до 8,5–10 с последующим незначительным снижением за счет выщелачивания гидроксида кальция из цементного камня.

Во время эксперимента фиксировали изменение содержания ионов магния и кальция методом ионной хроматографии. В таблицах 1 и 2 представлено динамическое изменение концентрации ионов магния при выдерживании цементного камня, наполненного ЦСП (цеолитсодержащие породы) при 10; 20; 30% и без наполнения в течение 28 суток в растворах хлорида магния с концентрацией 0,5; 1,5; 2,5%. Из таблиц видно, что реакция обмена между гидроксидом кальция и хлоридом магния зависит от концентрации соли,

степени наполнения и времени экспонирования цементного камня в растворах хлорида магния. Обменная реакция между цементным камнем без ЦСП протекает с более высокой скоростью при всех концентрациях раствора хлорида магния.

Таблица 1

**Результаты анализа фильтрата после выдержки цементного камня
в растворах хлорида магния различной концентрации**

τ , сут	$\omega, \%$ $MgCl_2$	$\omega, \%$ ЦСП	Содержание ионов, мг/л		$X_{cp} \pm (t_{tf} \cdot S) / \sqrt{n}$, мг/л	pH
			Mg^{2+}	Ca^{2+}		
14	0,5	0	1061,141	27,835	0,207	2717,608
		10	878,925	26,512	0,132	2697,916
		20	916,502	192,310	0,145	2693,118
		30	1082,663	44,427	0,042	2720,869
	1,5	0	2530,236	64,447	0,079	8486,367
		10	2288,565	102,620	0,042	8232,624
		20	2223,172	433,220	0,058	8635,201
		30	2326,792	118,445	0,108	8509,945
28	0,5	0	3679,389	149,466	0,079	13514,241
		10	3321,635	272,747	0,301	13513,333
		20	3748,612	186,353	0,265	13993,917
		30	3685,195	177,367	0,423	13802,035
	1,5	0	1006,917	19,838	0,223	2615,999
		10	816,557	16,53	0,281	2524,315
		20	742,083	147,63	0,186	2673,285
		30	999,826	23,496	0,127	2518,400
	2,5	0	2529,255	45,641	0,089	7665,861
		10	1771,166	30,52	0,113	7924,934
		20	1514,278	178,66	0,081	7868,010
		30	1860,404	70,045	0,116	7676,389
	2,5	0	3598,633	85,247	0,292	13207,274
		10	3029,991	191,382	1,113	13414,241
		20	3226,918	90,791	0,494	13894,667
		30	3277,710	101,313	0,464	13772,685

Введение ЦСП понижает скорость обменной реакции. Наиболее медленно реакция протекает при 30% степени наполнения. В этом случае в растворе содержится наибольшее количество свободных ионов магния. Это, вероятно, связано с понижением содержания оксида кальция в цементном камне за счет снижения доли самого цемента в бетоне (содержание CaO в портландцементе ~ 65%, в ЦСП ~ 7,2%). По результатам эксперимента можно сделать вывод, что ЦСП снижает коррозию цементного камня [3].

Таблица 2

**Результаты анализа фильтрата после выдержки цементного камня
в растворах MgSO₄ различной концентрации**

τ , сут	ω , % MgSO ₄	ω , % ЦСП	Содержание ионов, мг/л		$x_{ср} \pm (t_{t,f} \cdot S) / \sqrt{n}$, мг/л		pH
			Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂ · nH ₂ O	SO ₄ ⁻	
7	0,5	0	359,786	158,511	-	-	9,890
		10	10,334	854,549	0,134	4469,073	9,710
		20	338,860	402,591	0,116	4056,701	9,620
		30	697,209	175,174	0,134	3850,515	9,710
	1,0	0	2033,399	933,183	-	-	9,870
		10	1739,506	1346,335	0,234	9872,164	9,660
		20	2182,883	416,337	0,161	8800,000	9,690
		30	2776,112	268,938	0,249	7150,516	9,740
	1,5	0	3245,620	2161,515	-	-	9,850
		10	4323,927	1329,251	0,141	17377,320	9,530
		20	4541,973	534,377	0,187	15977,318	9,780
		30	4757,402	409,377	0,193	16787,628	9,760
14	0,5	0	234,917	269,426	-	-	9,664
		10	0	980,697	0,432	3614,937	9,755
		20	170,914	485,340	0,375	3770,579	9,660
		30	672,469	235,217	0,381	3423,985	9,560
	1,0	0	0	3991,599	-	-	9,640
		10	1360,306	1856,878	0,423	8003,846	9,630
		20	1975,193	781,371	0,409	7345,027	9,489
		30	2511,359	353,264	0,567	5581,946	9,612
	1,5	0	2552,112	3142,035	-	-	9,651
		10	3990,893	1730,120	0,340	14097,697	9,693
		20	4364,444	762,720	0,427	14034,960	9,530
		30	4510,582	346,501	0,425	13452,048	9,620
28	0,5	0	61,571	149,371	0,276	2630,000	9,440
		10	0	688,626	0,549	2163,074	9,365
		20	0	347,931	0,551	3204,124	9,162
		30	516,308	48,323	0,959	2832,990	9,180
	1,0	0	0	3406,131	0,249	6997,938	9,220
		10	479,821	1846,652	0,471	5925,773	9,210
		20	1332,631	917,253	0,429	6255,670	8,980
		30	2052,792	401,561	0,648	4564,94	9,010
	1,5	0	2216,620	2028,277	0,212	10750,515	9,040
		10	2788,775	1949,610	0,491	10255,670	9,060
		20	2983,746	706,724	0,462	9810,684	9,200
		30	4146,798	271,895	0,549	9224,742	9,030

В таблицах 1 и 2 показано изменение концентрации ионов кальция при выдерживании цементного камня с различным содержанием ЦСП. Концентрация свободных ионов кальция увеличивается в зависимости от доли ЦСП в цементном камне. Самая низкая концентрация ионов кальция наблюдается в растворе при контакте с цементным камнем со степенью наполнения 30%.

Экспериментальные данные свидетельствуют, что обменная реакция между гидроксидом кальция и сульфатом магния протекает медленно. При степени наполнения ЦСП на 30% свободных ионов магния в растворах больше, чем с более низкой степенью наполнения.

Прослеживается взаимосвязь содержания свободных ионов магния в растворе с содержанием ионов кальция. С увеличением концентрации ионов магния уменьшается содержание ионов кальция. На указанную взаимосвязь оказывает влияние степень наполнения цементного камня ЦСП. Чем больше степень наполнения, тем меньше оксида кальция в цементном камне и тем больше свободных ионов магния в растворе.

Параллельно с анализом фильтратов осадков была определена прочность образцов на сжатие. Результаты эксперимента показали, что наиболее высокой прочностью обладают цементные композиты, наполненные ЦСП на 20% – 41,4 МПа, выдержаные в 1,5% растворе хлорида магния. С повышением концентрации хлорида магния до 2,5% наблюдали понижение прочности до 37,8 МПа. Ненаполненные композиты при всех изученных концентрациях хлорида магния показали более низкую прочность. Степень наполнения композитов ЦСП оказывает заметное влияние на прочность, так же, как и концентрация агрессивной среды [4–6].

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: цеолитсодержащие породы можно использовать в качестве наполнителя в цементное вяжущее для получения химически стойких железобетонных конструкций. Согласно полученным результатам в системе «цементный камень – хлорид магния» степень наполнения цементного камня при 10 и 20% наиболее эффективна в плане повышения прочности и коррозионной стойкости. Более низкой прочностью обладают композиты, выдержаные в системе «цементный камень – сульфат магния». Экспериментальные данные показали, что при повышении степени наполнения ЦСП до 30% и выше прочность цементных композитов понижается. Введение цеолитсодержащих наполнителей позволяет уменьшить корродируемость арматуры в железобетонных конструкциях, работающих в агрессивных средах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барбакидзе Б. Ш. Долговечность строительных конструкций и сооружений из композиционных материалов. – М.: Стройиздат, 1993. – 256 с.
2. Куприяшкина Л. И., Гарынкина Е. Н., Куприяшкина Е. И. Влияние цеолитсодержащих пород на рН-показатель бетонов // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – С. 273–275.
3. Баландина А. В., Куприяшкина Л. И., Осипов А. К., Савинова О. Н., Седова А. А., Селяев В. П. Влияние концентрации солей магния на прочность цементного камня, наполненного цеолитсодержащей породой [Электронный ресурс] // Огарев-online. – 2016. – № 19. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/vliyanie-koncentracii-solej-magniya-na-prochnost-cementnogo-kamnya-napolnennogo-ceolitsoderzhashhej-porodoj>.
4. Куприяшкина Л. И., Седова А. А., Куприяшкина Е. И., Гарынкина Е. Н. Действие магнезиальных солей на наполненные цементные композиты // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, д.т.н. профессора Соломатова В.И. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – С. 59–64 .
5. Селяев В. П., Седова А. А., Куприяшкина Л. И., Осипов А. К. Комплексное изучение процессов повреждения цементного камня растворами карбоновых кислот// Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 8. – С. 34–41.
6. Селяев В. П., Седова А. А., Куприяшкина Л. И., Осипов А. К., Куприяшкина Е. И. Изучение процессов повреждения цементного камня, наполненного цеолитосодержащей породой, растворами хлористоводородной кислоты // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 7. – С.32–38.