

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tanovi.69@mail.ru

УДК 691.62

ОБЛЕГЧЕННЫЕ КЛАДОЧНЫЕ РАСТВОРНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ГАЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ

**И.В. Гордейко, В.Б. Петропавловская,
М.А. Смирнов, В.В. Белов**

© Гордейко И.В., Петропавловская В.Б.,
Смирнов М.А., Белов В.В., 2024

***Аннотация.** В статье приведены новые подходы к повышению эффективности сухих теплоизоляционных смесей с учетом закона сродства структур, который предусматривает проектирование композитов с использованием наполнителей и композиционных вяжущих пониженной плотности.*

***Ключевые слова:** цементно-полимерные композиции, модификация строительных растворов, водорастворимые полимеры, алюмосиликатные полые микросферы, кладочные растворы, прочность.*

Введение

Газобетон представляет собой строительный материал, который часто используют многие потребители. При возведении малоэтажных зданий, как правило, применяются газобетонные элементы [1]. Обычно это блоки разного размера. Для изготовления газобетона используют такие материалы, как вода, газообразователь и цемент. Их производство осуществляется с помощью технологии автоклавного пропаривания и твердения блоков. За счет такой последовательности получают строительные конструкции высокого качества с небольшой себестоимостью. Облегченные и ячеистые типы блоков легко обрабатываются при помощи специальных инструментов, которые придают им нужные формы и размеры. После этого блоки доставляются на стройку в спецконтейнерах или на поддонах.

Главные преимущества газобетона:
теплоизоляция,
стойкость к низким температурным режимам,
пожароустойчивость,
экологичность.

Благодаря этим характеристикам газобетон пользуется большой популярностью [1, 2].

Химические и минералогические составы строительных растворов. Эффективность строительных растворов

Химический и минералогический состав модифицированных строительных растворов изучали с учетом требований действующих ныне нормативных документов, стандартов и методик. Известно, что ведущие физико-механические и физико-химические свойства строительных растворов и кладочных цементов находятся в прямой зависимости от химических, минералогических и фракционных составов используемых исходных компонентов, соотношения содержащихся в них основных оксидов и количества второстепенных оксидов, а следовательно, от химических составов сырьевых материалов, из которых получен конечный продукт. Из вышеизложенного следует, что оперативный контроль химического состава исходных сырьевых материалов является одним из основных условий изготовления качественного строительного раствора, отвечающего заданным требованиям. Во время химического анализа строительного раствора, а также гидратированных материалов важно определить содержание оксидов кремния (SiO_2), алюминия (Al_2O_3), железа ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$), кальция (CaO), магнезия (MgO), натрия (Na_2O), калия (K_2O), серы (SO_3) и потери при прокаливании. Реже требуется установить содержание других оксидов, присутствующих в незначительных количествах (например, оксидов титана (TiO_2), фосфора (P_2O_5), марганца (MnO_2), хрома (Cr_2O_3) и т.д.). Схема проведения химического анализа следующая. После разложения пробы находили содержание кремниевой кислоты с помощью весового метода. Процесс происходил с обязательным последующим удалением ее в виде четырехфтористого кремния (SiF_4). После отделения кремниевой кислоты в фильтрате комплексонометрически определялось содержание оксидов железа, алюминия, кальция и магнезия, а фотоколориметрически – оксидов титана, фосфора, марганца и иногда хрома. По навескам делали вывод о потерях при прокаливании, содержании оксидов натрия, калия и серы. В экспериментах расшифровку рентгенограмм проводили стандартным методом. Кристаллы каждого индивидуального соединения дают специфическую (только им присущую) рентгенограмму с характерными значениями межплоскостных расстояний и определенной интенсивностью соответствующих отражений. В соответствии с вышеуказанным дифракционные картины образцов

строительного раствора были получены по методу порошка на рентгеновской установке ДРОН-4,0. Съемка рентгенограммы осуществлялась при скорости движения диска счетчика 2 град/мин. В качестве внутреннего эталона использовали монокристаллический кварц. Длина волны кобальтового излучения – 1,785 29 Å; напряжение трубки – 25 кВ; ток накала трубки – 20 мА. Для идентификации фаз брали таблицы и справочники, составленные авторами работ, а также картотеку ASTM по рентгенограммам ASTM [3]. Таким образом, химический анализ составов растворов кирпичной кладки у памятников архитектуры и составов модифицированных строительных растворов на основе сульфатов кальция изучали по используемым в настоящее время методикам на действующих приборах.

Результаты исследования строительного раствора кирпичной кладки архитектурных памятников показали, что максимумы дифракции появились при $d = 0,756; 0,422; 0,306; 0,208$. Эти размеры отражают наличие гипса в растворе. Кроме того, в составе смеси есть кварц ($d = 0,334; 0,245; 0,228$ нм), альбит ($d = 0,310; 0,402$ нм) и доломит ($d = 0,290; 0,241; 0,219; 0,202$ нм) [3, 4].

Кладочные растворы и кладка блоков из газобетона

Легкий и пористый строительный материал имеет множество преимуществ по сравнению с обычным бетоном: повышенное соотношение прочности и веса, более низкий коэффициент теплового расширения, хорошую звукоизоляцию. В настоящей статье представлена периодизация развития автоклавного газобетона, дан обзор научных источников, связанных с исследованиями качества данного строительного материала, определяемого его свойствами: пористостью, паропроницаемостью, прочностью.

Предмет исследования – основные исторические события и технологии изготовления, повлиявшие на создание и изменение структурных составляющих автоклавного газобетона. На основе ретроспективного анализа и современных научных представлений выделены основные исторические этапы качественного развития газобетона, представлены систематизированные результаты современных исследований, касающихся актуальных характеристик данного строительного материала.

Пять тысяч лет назад материал на основе извести и минеральных вяжущих (в основных структурных составляющих) применялся в качестве штукатурного и кладочного раствора. Поскольку опыт использования газобетона в строительстве оказался положительным, со временем он получил качество и характеристики ячеистого блока, совершенствование которых продолжается и в настоящее время. Свойства автоклавного газобетона развиваются на основе изменений его состава и геометрической формы блока, что положительно влияет на экологичность нового

строительного материала, его долговечность, создание комфортных условий для проживания людей. Как блок материал имеет непродолжительную историю. Необходима разработка новых рациональных технологий изготовления для повышения качества материала и улучшения его характеристик [5].

Каменная кладка – один из древнейших видов конструкций, состоящих из стенового материала и кладочного раствора. Актуально возведение каменных конструкций и в наше время. Ключевой недостаток традиционной каменной кладки – ее невысокая надежность при динамических воздействиях техногенного и природного характера. Это ограничивает ее использование, особенно если принимать во внимание ужесточение норм сейсмостойкости зданий и сооружений. Слабым местом системы является контактная зона между стеновым материалом и раствором, а именно недостаточное сцепление. Работа, ведущаяся в настоящее время, направлена на устранение данного недостатка путем создания экономичных и эффективных композиционных вяжущих.

Известно, что традиционные кладочные растворы на основе минеральных компонентов имеют ограниченный потенциал наращивания основных показателей (в частности, адгезии к различным видам стеновых материалов). Это связано с большим количеством негативных побочных явлений, вызываемых вводимыми в них тонкодисперсными компонентами, умаляющими основной положительный эффект.

Использование полимерных модификаторов, хорошо зарекомендовавших себя в сухих строительных смесях различного назначения, непопулярно из-за значительного удорожания строительного раствора при его высоком расходе. В толстошовной кладке растворные швы могут формировать до 20 % от общего объема конструкции. Решением, не реализуемым ранее, является разработка композиционных вяжущих, обеспечивающих средство растворов к основным типам применяемых стеновых материалов, с целью повышения сцепления между элементами кладки, ее надежности и безопасности.

Слабое место растворов, используемых на практике, – выступающий в качестве основного вяжущего портландцемент. Совокупность его свойств плохо соотносится с требуемым для достижения высокой эффективности кладочных растворов. Низкая удельная поверхность, оптимальная для бетонов, имеющих в качестве приоритетного свойства прочность, не обеспечивает нужной водоудерживающей способности и скорости твердения; высокая активность не позволяет получать низкомарочные растворы с достаточным содержанием минерального клея без неоправданного перерасхода дорогостоящего вяжущего и т.п. Таким образом, повышение надежности и безопасности каменной кладки невозможно без пересмотра сырьевой базы кладочных растворов [6, 7].

Наиболее гибкая минеральная система, обладающая огромным адаптационным потенциалом, – композиционные вяжущие. Они позволяют за счет изменения соотношения между клинкерной составляющей и минеральной добавкой, варьирования состава последней, введения химических модификаторов и изменения режимов обработки придавать им разнообразные свойства, необходимые для решения конкретной задачи. Анализируя с позиций геоники (геомиметики) причины высоких прочностных показателей слоистых горных пород, являющихся природными аналогами каменной кладки, установили, что в большинстве случаев природный цементирующий раствор содержит большое количество мелких частиц основной породы, обеспечивающих на макро- и микроуровнях формирование шва, аналогичного по составу и структуре основной породе. Поскольку условия твердения раствора в кладке (в виде прослойки толщиной 8–12 мм) существенно отличаются от принятых при испытаниях бетонов и растворов, вместе со стандартными показателями определялись и дополнительные, дающие возможность оценить поведение раствора в естественных условиях. На основе разработанных композиционных вяжущих (алюмосиликатных полых микросфер) были получены кладочные растворы. Для всех составов приняты единое отношение вяжущего к песку 1 : 3, пластифицирующая добавка вводилась в рациональной дозировке, количество воды подбиралось для обеспечения глубины погружения стандартного конуса 9–10 см. Другие функциональные добавки на данном этапе не вводились. Водоудерживающая способность всех составов превышает 98 %, что соответствует требованиям нормативных документов. Марочная прочность растворов (определяемая на образцах-кубах) колеблется в довольно широких пределах (от 10,6 до 17,6 МПа). Поскольку корреляция прочности с водотвердым соотношением (В/Т) растворов не прослеживается, наиболее значимым фактором в данном случае является вид минеральной добавки в составе вяжущего.

Кладочные растворы на основе композиционных вяжущих

Наиболее высокую марочную прочность продемонстрировали составы на основе композиционных вяжущих с использованием боя керамических материалов. В случае с раствором Р4, в состав вяжущего которого входит керамзитобетон, имеют место все перечисленные факторы:

1. Растворная часть керамзитобетона всегда содержит некоторое количество непрореагировавшего клинкерного вещества, обнажаемого в ходе тонкого помола.

2. Вещество минеральной добавки имеет полиминеральный алюмо-натно-силикатный состав, что обуславливает возможность его взаимодействия с пластифицирующей добавкой и подтверждается данными

реологических исследований и одним из самых низких В/Т (0,12) в рассмотренной серии.

3. Гидратные фазы керамзитобетона, диспергированные в процессе помола, проявляют сродство к новообразованиям клинкерной части вяжущего, формируют центры кристаллизации.

У контрольных составов другой характер нарастания усадочных деформаций [8]. В начальный период усадка имеет максимальную скорость и приводит к нарушению контакта с кладочным материалом и повышению дефектности раствора, не набравшего достаточной прочности.

С точки зрения обеспечения долговечности кладки при циклическом нагревании и охлаждении предпочтительным является равное или незначительно повышенное значение величины теплового расширения раствора по отношению к кладочному материалу.

Другим важным критерием обеспечения эффективной совместной работы раствора и стенового материала в кладке служит различие величин деформации набухания. Оптимальные величины показателя деформации набухания имеют растворы на основе разработанных композиционных вяжущих. Величина их удлинения составляет 0,5–0,7 мм/м. Установлено, что использование родственными стеновым материалам алюмосиликатных полых микросфер позволяет на 30–45 % снизить коэффициент анизотропности кирпичной кладки по сравнению с модифицированным цементно-известково-песчаным раствором. Данный эффект более ярко проявляется на более сложном (с точки зрения обеспечения хорошего сцепления с раствором) силикатном кирпиче.

Интегральной характеристикой, определяющей надежность кладки в условиях сейсмических нагрузок, является предел прочности при сдвиге. Показано, что данный показатель в 2,4–2,7 раза выше у кладки с применением кладочных растворов на основе разработанных композиционных вяжущих. Значение характеристики хорошо коррелируется с показателями по адгезии кладочных растворов к стеновым материалам. Это объясняется микроструктурой контактной зоны раствора и стеновых материалов [9, 10].

Заключение

По мере развития строительных технологий газобетон из монолитного материала превратился в сборно-строительный. Монолитный метод использования раствора применяется и в настоящее время. Строительный материал совершенствуется через изменение состава и формы исполнения, и это положительно сказывается на его внутренней и внешней экологичности, долговечности и энергоэффективности. Основной ценностью были и остаются его теплоизоляционные качества. Состав раствора не претерпел существенных изменений, однако время от времени появляются новые актуальные методы изготовления газобетона.

Основываясь на опыте строителей прошлого и современной теоретической базе, можно сказать, что дальнейший эволюционный процесс повышения прочности и безопасности кладки из различных видов стеновых материалов будет происходить за счет возникновения новых принципов проектирования составов растворов и при учете поверхностных свойств кладочного элемента. Применение микросферы в строительной отрасли экономически выгодно, технологически оправдано и целесообразно [11].

Библиографический список

1. Елистраткин М.Ю., Кожухова М.И. Анализ повышения прочности неавтоклавного газобетона // *Строительные материалы и изделия*. 2018. Т. 1. № 1. С. 59–68.
2. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Сумской Д.А. Теплоизоляционные растворы пониженной плотности // *Строительные материалы и изделия*. 2018. Т. 1. № 1. С. 40–50.
3. Оноприенко Н.Н., Сальникова О.Н. Повышение эффективности строительных растворов отечественного производства // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2019. № 8. С. 22–28.
4. Рахметов А.Ж., Темербаева Ж.А. Кладочные растворы на основе композиционных вяжущих // *Вестник науки*. 2019. № 5 (14). Т. 3. С. 366–370.
5. Алипова В.А. Исследования структуры и свойств автоклавного газобетона // *Архитектура и дизайн*. 2020. № 1. С. 23–32.
6. Кабжихов А.А., Бегиева Б.М. Газобетонные блоки // *Архитектура*. 2020. № 3. С. 36–38.
7. Куприяшкина Л.И., Усанова Е.Ю., Ермолаев Д.Н. Влияние микрокремнезема на морозостойкость кладочного раствора. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-mikrokremnezema-na-morozostoykost-kladochnogo-rastvora/viewer> (дата обращения: 25.01.2024).
8. Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш., Нахаев М.Р. Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии // *Строительные материалы*. 2020. № 1 (2). С. 73–77.
9. Исмаатов С.С., Вахитов М.М., Тожиев И.И. Создание строительных растворов, соответствующими параметрами к оригиналу // *Polish science journal*. 2021. Is. 1 (34). Part 2. P. 34.
10. Vakhitov M.M., Tulaganov A.A., Togiev I.I. Mortars for the restoration of architectural monuments of Bukhara IX–XVI centuries // *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. Great Britain. 2020. № 3. Vol. 24. Is. 08. P. 6158–6172. URL: <https://www.psychosocial.com/article/PR280636/24422> (дата обращения: 25.01.2024).
11. Тожиев И.И. Изучение структуры архитектурных растворов // *UNIVERSUM: Технические науки*. 2022. № 2 (95). URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-struktury-arhitekturnyh-rastvorov> (дата обращения: 25.01.2024).

LIGHTWEIGHT MASONRY MORTAR MIXTURES FOR AERATED CONCRETE BLOCKS

**I.V. Gordeyko, V.B. Petropavlovskaya,
M.A. Smirnov, V.V. Belov**

***Abstract.** This article presents new approaches to improve the efficiency of dry heat-insulating mixtures, taking into account the law of structural affinity, which involves the design of composites using fillers and low-density composite binders.*

***Keywords:** cement-polymer compositions, modification of mortars, water-soluble polymers, aluminosilicate hollow microspheres, masonry mortars, strength.*

Об авторах:

ГОРДЕЙКО Илья Валентинович – студент, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: veter1145@gmail.com

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

СМИРНОВ Матвей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

About the authors:

GORDEIKO Ilya Valentinovich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: veter1145@gmail.com

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Advisor to RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

УДК 666.914.4

БЕЗОБЖИГОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ФОСФОГИПСА

**К.В. Ефимов, В.Б. Петропавловская,
Т.Б. Новиченкова, Ю.Ю. Курятников**

© Ефимов К.В., Петропавловская В.Б.,
Новиченкова Т.Б., Курятников Ю.Ю., 2024

***Аннотация.** В работе представлены результаты исследования безобжиговых модифицированных композиций повышенной водостойкости на основе техногенных отходов химической отрасли – фосфогипса. Предложен новый ресурс- и энергосберегающий способ утилизации фосфогипса при производстве строительных материалов.*

***Ключевые слова:** фосфогипс, техногенные отходы, шлако-портландцемент, композиционные материалы, водостойкость.*

Фосфогипс является крупнотоннажным отходом производства серной кислоты. Несмотря на значительное количество разработок по утилизации фосфогипса, из 20 млн т его, получаемого ежегодно, находит применение только 0,3 млн т, или 1,5 %, а остальное удаляется с территории предприятий как отход. Это связано со значительными затратами труда и финансовых средств [1]. Получение модифицированных композиций на основе двуводного гипса повышенной водостойкости с сохранением всех достоинств гипсовых материалов может повысить производительность труда и снизить стоимость строительства [2].

Наряду с положительными характеристиками гипсовым изделиям присуща невысокая водостойкость. Это отрицательное свойство гипсовых изделий сужает область и масштабы их применения в строительстве [3]. Во многом из-за данного недостатка гипсовые изделия до сих пор не получили достаточно широкого распространения в строительстве [4]. Гипсовые