

Клочков А. В., аспирант,  
Павленко Н. В., канд. техн. наук, инж.,  
Строкова В. В., д-р техн. наук, проф.,  
Беленцов Ю. А., д-р техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТЕКЛЯННЫХ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО-КОНСТРУКЦИОННЫХ КЛАДОЧНЫХ РАСТВОРОВ\*

IPklochkov@gmail.com

*Изучены химический, минералогический составы, физико-механические характеристики алюмосиликатных микросфер, входящих в состав отходов теплоэлектростанций, особенности кладочных растворов с микросферами, что позволило судить о пригодности использования микросфер, как теплоизоляционного компонента растворной смеси.*

**Ключевые слова:** алюмосиликатные микросферы, кладочный раствор, растворный шов, микро-структурные особенности, вододерживающая способность.

В настоящее время актуальным является проведение исследований в области создания теплоэффективных стеновых конструкций, характеристики компонентов которых должны быть сопоставимы. Большая часть строительных композитов, применяемых при строительстве зданий и сооружений обладают анизотропными свойствами, или приближаются по характеристикам к анизотропным материалам благодаря проектируемым формам или армированию [1–2]. При проектировании теплоэффективных стеновых конструкций важным является не только прочность в условиях сложноподвижного состояния, но и теплоизоляционные характеристики. В связи с этим актуальным является создание стеновых конструкций с высокими прочностными показателями, при этом обеспечивающих минимизацию теплопотерь. При строительстве современных зданий в большинстве случаев применяются следующие конструкции стен:

–однослойные (монолитное строительство из ячеистых бетонов);

– многослойные (конструкции, состоящие из материалов различного функционального назначения);

–комбинированные (конструкции из теплоизоляционных штучных материалов и кладочных растворов).

Однослойные ограждающие конструкции, выполненные из монолитного ячеистого бетона, характеризуются седиментационной нестабильностью композита до начала процесса схватывания, что приводит к неоднородности стены и отрицательно сказывается на теплоизоляционных характеристиках стеновых конструкций зданий.

Многослойные стеновые конструкции обладают меньшей массой и толщиной, при соответствующих теплоизоляционных характеристиках, в сравнении с однослойными. В качестве теплоизоляционного слоя, применяются минеральные волокнистые или пенополистирольные

плиты, которые имеют ряд существенных недостатков: усадка, не достаточная огнестойкость, деструкция при воздействии внешних факторов, снижение коэффициента однородности стеновой конструкции.

Наиболее перспективным является применение комбинированных стеновых конструкций, составными компонентами которых являются теплоизоляционные и теплоизоляционно-конструкционные штучные материалы (газосиликат, пенобетон, керамзитобетон) и кладочные растворы.

На теплоизоляционные характеристики стен значительное влияние оказывает состав и характеристики растворного шва. Применение традиционного кладочного раствора в стеновой конструкции на основе теплоизоляционных материалов, отрицательно сказывается на однородности и способствует снижению общей теплоизоляции зданий [3].

Модернизация технологических линий по производству ячеистых бетонов автоклавного и неавтоклавного твердения, позволила создать изделия, характеризующиеся более четкой геометрией, применение которых обеспечит снижение толщины кладочного шва до 2–3 мм, что положительно сказывается на теплоизоляции стены. Однако, на практике создание такой стеновой конструкции возможно только с применением специальных, растворных смесей на полимерных связующих, которые имеют высокую плотность и не являются теплоизоляционными. При проектировании стеновой конструкции необходимо учитывать тот факт, что снижение толщины шва на 30 % сопровождается уменьшением показателей эксплуатационных характеристик стены на 10 % [2]. Следовательно, наиболее рациональным является применение растворов с рекомендуемой толщиной шва более 10 мм, но не более 30 мм, низкой теплопроводностью и относительно высокой прочностью.

Увеличение теплоизоляционных показателей растворных швов возможно при использо-

вании теплоизоляционно-конструкционных кладочных смесей [3], обычно содержащих вяжущий компонент, легкий наполнитель, воду и добавки. В качестве легких наполнителей обычно используют вспученные перлиты, вермикулиты, керамзитовый отсев, древесные опилки, полые микросферы и др. Почти все наполнители имеют высокие показатели влагоемкости, что, безусловно, увеличивает количество воды в системе при одинаковом расходе вяжущего. Высокое В/Ц отношение в кладочных растворах отрицательно сказывается на прочностных характеристиках растворного шва, что ограничивает их область применения в конструкциях с высокой проектной прочностью. Для решения этой проблемы необходимо увеличивать содержание цемента в системе, при этом теплопроводность раствора возрастет. Соответственно, такие кладочные смеси не применимы для устройства стеновых конструкций из теплоизоляционных блоков.

Одним из важных критериев качества растворной смеси, согласно ГОСТ 28013-98 [4] является подвижность раствора. Некоторыми авторами [1, 5 и др.] было предложено использование пластификаторов в составе растворной смеси с целью повышения удобоукладываемости, снижения расхода цемента и количества воды затворения, при сохранении высоких прочностных характеристик. Но, так как, кладка постоянно находится в сложнапряженном, деформированном состоянии [1], на характеристики стеновой конструкции влияет еще ряд факторов: модуль продольной деформации раствора и стенового материала, усадка растворной смеси, наличие пустот при неравномерном распределении раствора по поверхности кирпича или блока и др. Кладочный шов, ввиду разности продольных деформаций блока и раствора, постоянно воспринимает дополнительную нагрузку, при этом во время усадки часть напряжений компенсируется. При введении пластифицирующих добавок усадка снижается, и как следствие, уменьшаются напряжения обжатия вертикальных растворных швов, при этом растягивающие усилия возрастают, прочность конструкции уменьшается, что является одним из наиболее серьезных недостатков применения пластификаторов при получении кладочных растворов.

Большинство легких наполнителей, относятся к высокопористым материалам с высокой влагоемкостью [5], что негативно сказывается на технико-эксплуатационных характеристиках кладочных растворов. В связи с этим перспективным является использование наполнителей с закрытой пористостью, что обеспечивает низкую водопотребность кладочных растворов с их применением. К таким наполнителям можно отнести полые стеклянные микросферы. Благодаря

замкнутости оболочки, их водопоглощение составляет не более 5 %. Стеклянные микросферы в основном извлекают из отходов теплоэлектростанций, они представляют собой полые частицы сферической формы диаметром 10–1000 мкм, химический состав которых представлен, следующими оксидами (масс.%):  $\text{SiO}_2$ : 50–60 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 25–35 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 1,5–2,5 %;  $\text{CaO}$ : 0,1–1,5 %;  $\text{MgO}$ : 0,1–1,5 %;  $\text{K}_2\text{O}$ : 0,2–2,9 %;  $\text{Na}_2\text{O}$ : 0,3–1,5 % [6]. Микросферы имеют правильную сферическую форму с гладкой оболочкой, что будет способствовать снижению сопротивления трения [7]. Микросферы являются полыми, состав внутренней газовой фазы  $\text{CO}_2 \sim 70\%$ ,  $\text{N}_2 \sim 30\%$ , а, следовательно, их введение в цементную систему способствует уменьшению коэффициента теплопроводности растворного шва и средней плотности растворной смеси, что положительно отразится на технико-эксплуатационных характеристиках стеновой конструкции.

Для многих теплоизоляционных материалов характерна высокая сорбционная способность, поэтому для теплоизоляционно-конструкционных кладочных растворов важными являются не только прочностные и теплоизоляционные характеристики, но так же водоудерживающая способность, для регулирования которой применяются специальные добавки. Эффективность стабилизирующих и водоудерживающих добавок определяют по изменению показателей расслаиваемости – водоотделения растворной смеси. К наиболее широко применяемым водоудерживающим добавкам относятся: бентонитовые глины, эфиры целлюлозы, полиэтиленоксиды, полиоксиэтилены и др. [8]. Использование бентонитовых глин ограничено, в связи с отрицательным влиянием данной добавки на прочностные характеристики раствора, что приводит к необходимости увеличения количества цементной составляющей, соответственно стоимость кладочной смеси возрастает. Применение эфиров целлюлозы, ввиду невысокой концентрации добавки в растворе, целесообразно с экономической точки зрения. Рекомендуемая дозировка добавки согласно ТУ 2231-107-05742755-96 составляет 0,2–0,25 % от массы цемента. На микрофотоснимках поверхностей микросфер в цементном камне с добавкой метилцеллюлозы (рис.1 а) наблюдается более активная адгезия цементного камня к поверхности микросфер, чем на составе без добавки (рис. 1 б), что положительно сказывается на прочностных характеристиках растворного шва.

Более равномерный процесс роста новообразований цементного камня объясняется в первую очередь более полным процессом гидратации. Использование водоудерживающих добавок позволяет сохранить влагу, необходимую для гидратации в течение всего периода твердения.

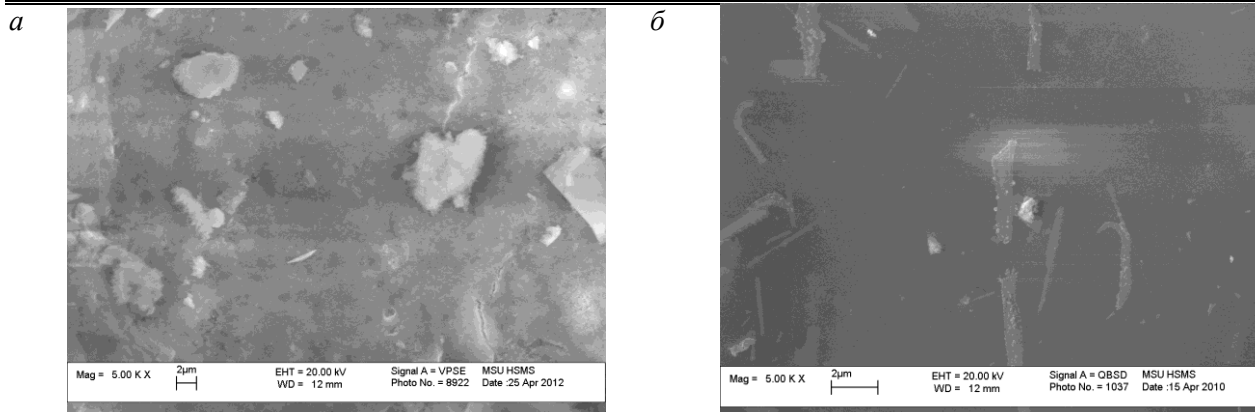


Рис. 1. Поверхность микросфер: *а* – в растворяющей смеси цемент–песок–микросферы–водоудерживающая добавка *б* – в растворяющей смеси цемент–песок–микросферы

Использование микросфер в качестве заполнителя при получении теплоизоляционно-конструкционного кладочного раствора позволяет реализовать частичную замену мелкого заполнителя, что для теплоизоляционно-конструкционных растворов является наиболее рациональным, с точки зрения теплоэффективности и прочности растворного шва. Теплопроводность раствора, при замене 35 % песка микросферами по объему, имеет показатели в 2 раза ниже в сравнении с традиционным кладочным раствором, и соответствует теплоизоляционным характеристикам керамзитобетонных блоков с плотностью  $1200 \text{ кг/м}^3$ . Полые стеклянные микросферы, характеризуются достаточно низкой влагоемкостью, малым удельным весом и высокой прочностью. Экономическая целесообразность применения полых стеклянных микросфер для теплоизоляционно-конструкционных кладочных растворов, обусловлена более низкой стоимостью, в сравнении с искусственно полученными микросферами, рациональным количеством легкого заполнителя в системе. Для повышения эффективности строительства наиболее перспективным является создание комбинированных стеновых конструкций с применением ячеистых и керамзитобетонных блоков на теплоизоляционно-конструкционных кладочных растворах с применением легких заполнителей с закрытой пористостью.

*\*Работа выполнена в рамках реализации: Программы стратегического развития БГТУ им. В. Г. Шухова и гранта РФФИ «Разработка новых подходов к созданию нано- и микро-структурированных строительных композитов на основе природных и техногенных полуфункциональных прото- и сингенетических систем» и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (2009 – 2013 годы), мероприятия 1.1 «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров»: № 2010–1.207–075, 2010 – 2012 гг, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (2009 – 2013 годы), Ме-*

*роприятие 1.3.1 «Проведение научных исследований молодыми учеными – кандидатами наук»: № 2011-1.3.1-200-029-41, 2011 – 2013 гг; г/б НИР № 3.4601.2011 в рамках – государственного задания Минобрнауки РФ, 2012 – 2014 гг.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беленцов, Ю. А. Повышение эффективности производства композиционных анизотропных материалов [Текст]: дис. ... д.т.н. / Ю. А. Беленцов Санкт-Петербург., 2011.
2. Беленцов, Ю.А. Структурная механика кирпичной кладки. Совершенствование методов армирования кирпичной кладки / Ю.А. Беленцов, П.Г. Комохов // Строительные материалы. Приложение Наука. – 2004. – №10. С.46 – 48.
3. Самарин, О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: изд. АСВ, 2009. 296 с.
4. Орешкин Д.В. Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства / Д.В. Орешкин // Строительные материалы. Приложение Наука. – 2010. – №6. – С.34–37.
5. Череватова, А.В. Строительные композиты на основе высококонцентрированных вяжущих систем [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.В. Череватова БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2008. – 43 с.
6. Пашкевич, А. А. Эффективные цементные штукатурные растворы с полыми стеклянными микросферами [Текст]: автореф. дис. ... к.т.н. / А. А. Пашкевич., Москва, 2009.– 8 с.
7. Fenelonov, V.B.. The Properties of Cenospheres and the Mechanism of Their Formation During High-Temperature coal Combustion at Thermal Power Plants [Текст] / V.B. Fenelonov, M. S. Mel'gunov, V. N. Parmon // KONA Powder and Particle Journal. – 2010. –№28. – С. 189–207.
8. Некоторые аспекты применения наноразмерных модификаторов с учетом их свойств / В.В. Нелюбова, А.Б. Бухало, Т.А. Анищенко, В.А. Кривецкий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2009. – №4. – С. 47–50.

