

В.А. ВОЙТОВИЧ, канд. техн. наук, И.Н. ХРЯПЧЕНКОВА, канд техн. наук (irina-xr@mail.ru)

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65)

Роль нанотехнологий в повышении качества и долговечности кирпичной кладки

Рассматривается проблема повышения вибро- и сейсмостойкости кирпичных кладок с использованием методов нанотехнологий. Предложено применять не требующие значительных капитальных затрат способы. Показана эффективность использования самоуплотняющихся цементных смесей, полученных с помощью гиперпластификаторов – поликарбоксилатов, молекулы которых являются наночастицами. Эффективно применение золь-гель технологии при приготовлении кладочных растворов – модифицирование цементно-поливинилацетатных строительных растворов эфирами ортокремниевой кислоты. Предложен способ защиты силикатного кирпича от деструкции во время пожара с помощью интумесцентных красок, в составе которых есть фуллереноподобные наночастицы – фуллероиды. Введение в цементные смеси базальтовой микрофибры в виде волокон с зафиксированным на них наномодификатором эффективно сказывается на прочности кладочных растворов.

Ключевые слова: нанотехнологии, кирпичные кладки, силикатный кирпич, золь-гель технология.

V.A. VOYTOVICH, Candidate of Sciences (Engineering), I.N. KHRYAPCHENKOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (irina-xr@mail.ru)
Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (65 Ilyinskaya Street, 603950 Nizhny Novgorod, Russian Federation)

The Role of Nano-Technologies in Improving the Quality and Durability of Brick Masonry

An issue of improving the vibro- and earthquake resistance of brick masonries with the use of nano-technologies is considered. It is proposed to use methods which don't require significant capital expenditures. The efficiency of using self-compacting cement mixes obtained with the help of superplasticizers – polycarboxylates, molecules of which are nano-particles, is shown. The use of the sol-gel method when preparing brickwork mortars, modification of cement polyvinyl acetate mortars with esters of orthosilicic acid is very effective. A method for protection of silicate brick against destruction during the fire with the help of intumescent paints, which contain fullerene-like nano-particles – fulleroids, is proposed. Introduction of basalt microfiber in the form of fibers with a nano-modifier fixed on them in cement mixes efficiently affects the strength of masonry mortar.

Keywords: nano-technology, brick masonry, silicate brick, sol-gel technology.

В настоящее время значительный объем строящихся объектов выполняется с использованием мелкоштучных каменных материалов. Для возведения каменных и армокаменных конструкций применяют искусственные и природные каменные материалы в виде кирпича, камней, мелких и крупных блоков, панелей, а также облицовочные и теплоизоляционные материалы, строительный раствор, бетон и арматуру. Наиболее часто в России используются каменные материалы в виде кирпича. Постоянно возрастающие требования к надежности и долговечности строительных сооружений определяют актуальность вопроса повышения качественного уровня каменной кладки, которая является неоднородным телом, состоящим из камней и швов, заполненных раствором. Специфические условия работы кладки приводят к тому, что даже при сжатии усилие передается неравномерно вследствие местных неровностей и неодинаковой плотности отдельных участков затвердевшего раствора. В результате кладка подвергается не только сжатию, но также растяжению и срезу. Прочность кладки при растяжении и срезе зависит главным образом от сцепления раствора с камнем, на величину которого влияют вид и состав раствора, его прочность и усадка, скорость поглощения камнем воды, чистота поверхности камня, условия твердения раствора в кладке и др. Поэтому при проведении расчетов современные нормативные документы, например пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций к СНиП II-22–81, включают показатели прочности кирпича при испытании на сжатие и продольный изгиб, а для растворной составляющей кладки – прочность при сжатии, адгезионную прочность к кирпичу при отрыве, подвижность и водонепроницаемость. Однако даже в зданиях, эксплуатируемых в нормальных условиях, проявляются факторы, не учитываемые в данных документах, но влияющие на качественные показатели и надежность кладки.

Процессы современной урбанизации существенно влияют на условия работы каменных конструкций зданий и сооружений. До сих пор специалистами не учитываются многие виды воздействий на эксплуатируемые объекты. Одно из них – колебания оснований зданий, порождаемые не только природными землетрясениями, но и техногенными причинами, например движением тяжелых транспортных средств, работой свабойных механизмов и др. Эти колебания медленно, но верно нарушают адгезионную связь в паре кирпич – кладочный раствор, что ускоряет разрушение каменных конструкций. Необходимо отметить, что частота возникновения колебаний и их интенсивность по мере насыщения города техникой возрастают.

Влияние техногенных факторов постоянно возрастает: даже землетрясения теперь становятся рукотворными. Как показали современные исследования, крупные водохранилища создают на территориях, прилегающих к ним, зоны повышенной сейсмичности, которые могут простираются на многокилометровые расстояния. Предположительно из-за московских морей на территории столицы произошло уже несколько землетрясений интенсивностью до четырех баллов. Горьковское море, возможно, стало причиной землетрясения силой в три балла в Нижнем Новгороде. По утверждению специалистов, сейсмичность территорий Москвы и Санкт-Петербурга непрерывно возрастает. Крупнейшее землетрясение, как предполагается, также техногенного характера произошло в Кузбассе летом 2013 г.

В зарубежной строительной практике меры по повышению сейсмостойкости кирпичной кладки разрабатываются уже давно. Так, за рубежом ограничивают применение силикатного кирпича с гладкой поверхностью, предлагают взамен кирпич с рифленой поверхностью или с наличием пазов и пустот, в которых можно сформировать растворный сердечник, а также создать шпоночное соединение в контактной зоне кирпича с раствором [1].

В настоящее время для повышения вибро- и сейсмостойкости кирпичной кладки следовало бы использовать три простых способа, не требующих значительных капитальных затрат. Один из них — смачивание кирпича водными дисперсиями полимеров, размер частиц (глобул) в которых лежит в наноразмерном диапазоне. К числу таких дисперсий относятся производимые ныне в России поливинилацетатные, акрилатстирольные и др. Глобулы полимера из таких дисперсий проникают в тончайшие капилляры и трещины, идущие от поверхности кирпича, склеивая их. Тем самым в заметной степени снижается возможность развития этих трещин в течение вибро- и сейсмоздействия на кладку. Наряду с этим дисперсия, высыхая на поверхности кирпича, образует полимерную пленку, которая служит грунтом для кладочного раствора. Этот грунт обеспечивает более высокую адгезионную прочность соединения между кладочным раствором и кирпичом и в заметной степени демпфирует горизонтальные напряжения, возникающие при вибро- и сейсмоздействиях на кладку за счет снижения модуля упругости зоны контакта. Грунтование кирпича могло бы помочь и в устранении проблемы появления высолов, которая сейчас решается в основном за счет использования гидрофобизаторов [2].

Вторым, более эффективным, но несколько более затратным способом является использование цементно-полимерных композиций — рационально составленных смесей, в которых наряду с традиционными компонентами (цементом, известью, песком) содержится полимер, распределенный в этой смеси либо в виде тонких пленок, пронизывающих минеральную матрицу, либо в виде мелких глобул, равномерно распределенных в кладочном растворе [3]. В том и в другом случае полимерный компонент повышает вибростойкость кладки, адгезионную прочность на границе «раствор — кирпич».

В настоящее время появились рекомендации использовать в качестве кладочных растворов сухие строительные смеси (ССС), которые наряду с цементом и песком содержат полимеры, введенные в виде порошков. Именно полимерные компоненты, суммарное количество которых должно составлять не менее 6 мас. % по отношению к цементу, сделали СССР столь востребованными строительными материалами. Можно априори утверждать, что любая СССР лучше традиционных кладочных растворов с точки зрения вибро- и сейсмостойкости, но наиболее пригодными являются их разновидности, называемые плиточными клеями. К настоящему времени в России появились СССР, в основном импортные, предназначенные специально для склеивания кирпича.

Полимерными компонентами в плиточных клеях чаще всего являются водорастворимые эфиры целлюлозы, эфиры крахмала и редиспергируемый порошок, получаемый распылительной сушкой сополимерной поливинилацетатной дисперсии. Такие полимеры эффективны и при введении в кладочные растворы. К сожалению, все упомянутые полимеры являются для России веществами импортными и дорогостоящими. Предпринимаемые в России попытки наладить производство отечественных аналогов этих полимеров пока остаются безуспешными.

В данной ситуации представляется целесообразным обратить внимание на материалы, которые в бывшем СССР успешно применялись в качестве плиточных клеев. Это цементно-поливинилацетатные строительные растворы (ЦПВА), представляющие собой рационально составленные композиции, содержащие портландцемент, кварцевый песок и дисперсию поливинилацетатную гомополимерную грубодисперсную пластифици-

рованную (ПВАД). Такое название она имеет в соответствии с ГОСТ 18992—80 «Дисперсия поливинилацетатная гомополимерная грубодисперсная. Технические условия». В свое время ПВАД для цементно-полимерных растворов применять почти перестали. Основная причина этого — подверженность полимера поливинилацетата щелочному гидролизу в цементных смесях на основе портландцемента.

Исследования показали, что ЦПВА во многих ситуациях могут с успехом заменять СССР. Эффективность применения этого материала повышается, если ПВАД предварительно модифицировать тетраэтоксиданом или этилсиликатом-32, которые представляют собой полные этиловые эфиры ортокремниевой кислоты. Тетраэтоксидан и этилсиликат-32 под действием воды и извести, образующихся при гидратации цемента, подвергаются гидролитической поликонденсации с образованием наночастиц диоксида кремния, которые упрочняют кладочный раствор. Следует заметить, что щелочной гидролиз поливинилацетата в присутствии тетраэтоксидана или этилсиликата-32 практически сводится к нулю.

Фактически модифицирование ПВАД указанными выше эфирами ортокремниевой кислоты представляет собой золь-гель технологию — один из наиболее эффективных способов получения наночастиц.

Третьим способом повышения сейсмо- и вибростойкости кладочных растворов является использование самоуплотняющихся цементных смесей. Такие смеси самопроизвольно растекаются по поверхности кирпича, сохраняя высокую подвижность в течение заданного времени. Это позволяет снизить отрицательное влияние неполноты контакта между кирпичом и раствором на адгезионную прочность между ними. Устраняется при этом и человеческий фактор (низкая квалификация каменщика, нарушение технологии работ путем введения воды для разжижения раствора и др.). Создание самоуплотняющихся цементных смесей стало возможным благодаря появлению нового вида суперпластификаторов — поликарбоксилатов. Свое действие поликарбоксилаты проявляют на уровне наночастиц [4]. До недавнего времени поликарбоксилатов российского производства не было. Сейчас производятся первые их отечественные представители — «Гиперлит», «Полипласт СП СУБ», «Хидетал ГП-9» и др.

Актуальной проблемой все чаще становится обеспечение устойчивости и соответственно надежности кирпичной кладки во время пожаров, частота и интенсивность которых в последние годы возрастают. Исследования С.В. Федосова и его коллег [5] по изучению влияния пожаров на прочность силикатного кирпича показали, что структурные изменения в силикате кальция начинаются уже при температуре 420°C и приводят к снижению прочности.

Наряду с разрушением кирпича при нагревании происходит и деструкция кладочного раствора. Как известно, уже при достижении температуры 250°C начинается дегидратация минералов, образующих цементную матрицу, что приводит к снижению прочности раствора. При температуре около 600°C начинается диссоциация самих минералов, составляющих цементную матрицу, на оксиды, что дополнительно разупрочняет цементный камень.

При повышении температуры до 575°C кварц (песок) как в кирпиче, так и в кладочном растворе переходит из α -модификации в β -модификацию с увеличением объема, что приводит к возникновению значительных внутренних напряжений.

Наряду с этим аморфная часть цементного камня при нагревании претерпевает усадку, в то время как кристаллические новообразования и негидратирован-

ные зерна цемента – увеличение объема. Наконец, при нагревании возникают напряжения, обусловленные различием в коэффициентах объемного расширения цементной матрицы и заполнителей. Все вышеперечисленные явления разрушают кладку.

В этих обстоятельствах все более востребованными становятся эффективные способы защиты конструкций от действия высокой температуры. К ним можно отнести окрашивание интумесцентными красками, из которых формируются покрытия, способные вспучиваться при пожаре и образовывать слой пены толщиной в несколько сантиметров. Данная пена является негорючей и нетеплопроводной, она защищает окрашенную поверхность от нагревания до критической температуры. В настоящее время эти краски стали широко востребованными.

Ахиллесовой пятой интумесцентных красок является то, что иногда образовавшаяся пена не удерживается на вертикальных поверхностях и отслаивается еще до окончания пожара. Исследователи из Санкт-Петербурга под руководством С.С. Мнацаканова предложили [6] вводить в интумесцентную краску базальтовую микрофибру с закрепленными на волокнах наночастицами фуллеренов. Адгезионная прочность пены за счет такого модифицирования интумесцентных красок заметно возрастает. Интересно отметить, что базальтовая микрофибра, вводимая в цементные смеси, повышает трещиностойкость цементного камня. Следовательно, введение базальтовой микрофибры будет эффективно и для кладочных растворов.

Такой армирующий материал получил название «модифицированная базальтовая микрофибра» и в настоящее время производится в России. Она представляет собой базальтовые волокна длиной 100–500 мкм, диаметром 8–10 мкм. Содержание наномодификатора, зафиксированного на них, составляет 0,01–0,0001% от массы волокна.

Роль нанотехнологий в современном строительном материаловедении становится все более значимой [7]. Что касается повышения надежности и долговечности кладки из силикатного кирпича, то применение для этой цели нанотехнологий – относительно малозатратный и эффективный способ.

Список литературы

1. Krogstad N.V. Shear keys // *Masonry construction*. 2007. July–August. P. 32–35.
2. Бессонов И.В., Баранов В.С., Баранов В.В., Князева В.П., Ельчищева Т.Ф. Причины появления и способы устранения высолов на кирпичных стенах зданий // *Жилищное строительство*. 2014. № 7. С. 39–43.
3. Погосян В.В. Структурно-механические особенности бетонов на основе цементно-полимерного вяжущего // *Промышленное и гражданское строительство*. 2009. № 6. С. 54–55.
4. Хаук Х.-Г. Высокоэффективные суперпластификаторы на базе эфиров поликарбоксилатов. Потенциал применения в современных бетонных технологиях // *Alitinform*. 2010. № 1. С. 78–84.
5. Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Соловьев Р.А., Мурзин Н.В., Тараканов Д.В., Лапшин С.С. Математическая модель развития пожара в системе помещений // *Вестник МГСУ*. 2013. № 4. С. 121–126.
6. Бабкин О.Э., Зыбина О.А., Танклевский Л.Т., Мнацаканов С.С. Диагностика качества нанесения и эффективности коксообразующих огнезащитных покрытий для металлоконструкций // *Промышленные покрытия*. 2014. № 7–8. С. 50–54.
7. Королев Е.В. Нанотехнологии в строительном материаловедении. Анализ состояния и достижений. Пути развития // *Строительные материалы*. 2014. № 11. С. 47–79.

References

1. Krogstad N.V. Shear keys. *Masonry construction*. 2007. July–August, pp. 32–35.
2. Bessonov I.V., Baranov V.S., Baranov V.V., Knyazeva V.P., El'chishcheva T.F. Causes and Remedies of efflorescence on the brick walls of buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 7, pp. 39–43. (In Russian).
3. Pogosyan V.V. Structural and mechanical characteristics of concrete on the basis of the cement-polymer binder. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2009. No. 6, pp. 54–44. (In Russian).
4. Khauk Kh.-G. High-performance superplasticizers based on polycarboxylate ethers. Potential applications in modern concrete technology. *Alitinform*. 2010. No. 1, pp. 78–84. (In Russian).
5. Fedosov S.V., Ibragimov A.M., Solov'ev R.A., Murzin N.V., Tarakanov D.V., Lapshin S.S. A mathematical model of development of a fire in the premises. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 4, pp. 121–126. (In Russian).
6. Babkin O.E., Zybina O.A., Tanklevskii L.T., Mnatsakanov S.S. Diagnostics application quality and efficiency of gas-flame retardant coatings for steel structures. *Promyshlennye pokrytiya*. 2014. No. 7–8, pp. 50–54. (In Russian).
7. Korolev E.V. Nanotechnology in construction materials. Analysis of the status and achievements. Ways of Development. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 11, pp. 47–79. (In Russian).

НОВОСТИ

Новый завод ССС запускается в Санкт-Петербурге

Строительно-торговый дом «Петрович» открывает в декабре 2015 г. в Санкт-Петербурге собственное производство сухих строительных смесей на цементной основе. В качестве поставщика оборудования для этих целей выбрана машиностроительная компания «Вселуг».

Завод вертикального типа рассчитан на производительность 50 т/ч модифицированных смесей. По проекту компании «Вселуг» предусматривается пять силосов для хранения: вяжущего, мелкодисперсного наполнителя и песка трех фракций. Приготовление смеси происходит в интенсивном смесителе Торнадо 3000К.

Готовая смесь из смесителя подается на фасовку, которая производится фасовочной машиной Аэропресс 4Ух производительностью до 1000 мешков в час. На заводе установлено две таких машины. Для фасовки продукта используются многослойные бумажные клееные мешки с внутренним самозакрывающимся клапаном. Наполненные мешки укладываются на паллету с дальнейшей упаковкой в пленку «стретч худ».

Введение в действие такого производства позволит строительно-торговому дому «Петрович» расширить ассортимент предлагаемых материалов и оптимизировать поставки ССС при сезонном спросе.

По материалам компании «Вселуг»