



Парута В. А.



Мартынов Е. И.



Брынзин Е. В.

**Парута В. А., канд. техн. наук, доцент,
Мартынов Е. И., канд. техн. наук, доцент,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ОГАСА), г. Одесса,
Брынзин Е. В., канд. техн. наук, начальник отдела маркетинга, ООО «ЮДК», г. Днепропетровск**

БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ

В статье приведены компоненты, при помощи которых решается проблема проектирования штукатурных растворов, механизм их действия и, как результат, снижение напряжений в системе «кладка-штукатурное покрытие» и повышение трещиностойкости штукатурного покрытия.

Массовое применение автоклавного газобетона требует материалов и технологий для его защиты. Оштукатуривание стен с отделкой декоративными штукатурками или фасадными красками, является наиболее эффективным технико-экономическим решением. Поэтому разработка составов штукатурных растворов является актуальной задачей, которую решают многие специалисты [1–4]. Недостатком разработанных составов является то, что им всем, в той или иной мере, присуще трещинообразование [3,5], которое приводит к разрушению штукатурного покрытия, снижению долговечности ограждающей конструкции.

По нашему мнению, происходит это из-за того, что при проектировании свойств и состава штукатурного покрытия, не в полной мере учитывают его работу в стеновой конструкции. Нормативные требования, предъявляемые к штукатурным растворам противоречивы и, по нашему мнению, не всегда обоснованы. Так, например, требуемая прочность при сжатии может варьироваться от 1,5 до 7,5 МПа (Россия), должна составлять 2,5 МПа (Украина), достигая 10 МПа (Германия). Прочность на изгиб должна составлять 1–1,25 МПа (Украина), и 2 МПа (Россия). Величина адгезии к кладке варьируется от 0,15 МПа (Россия), до 0,5 МПа (Украины).

Необоснованно завышенная прочность штукатурного покрытия является причиной трещинообразования в нем и контактной зоне с газобетонной кладкой, что приводит к снижению долговечности стеновой конструкции.

Штукатурный раствор, по нашему мнению, следует рассматривать как покрытие, связанное с кладкой через контактную зону. Необходимо выбирать компоненты штукатурной смеси и их количество, с учетом процессов протекающих при твердении штукатурного покрытия и разрушении системы «кладка-штукатурное покрытие». Применение штукатурных растворов должно обеспечить снижение напряжений в штукатурном покрытии и контактной зоне до величин, меньших, чем разрушающее напряжение. Проектирование составов и свойств штукатурных растворов необходимо вести с учетом напряжений, возникающих в штукатурном покрытии из-за его усадки и разницы деформаций с кладкой при твердении, а также деформаций стеновой конструкции и самого покрытия при эксплуатации.

Разрушение штукатурного покрытия связано с образованием, накоплением и развитием дефектов в структуре материала (микро- и макротрещин) которые образуются при нанесении, твердении и эксплуатации. Особенностью процесса твердения штукатурного раствора является то, что гидратация

цемента протекает при недостаточном количестве воды, из-за ее интенсивного испарения и поглощения пористым основанием. В этих условиях формируется дефектная структура цементного камня, образуются неравновесные, метастабильные поликристаллические новообразования. Твердение при пониженном В/Ц приводит к неполной реализации вяжущего потенциала цемента, падению прочности, повышенному трещинообразованию и снижению долговечности затвердевшего штукатурного покрытия [8, 9, 10, 11].

Происходит гидравлическая (0,3...0,8 мм/м) и пластическая (2...5 мм/м) усадка штукатурного раствора [1], что приводит к образованию трещин. Так как газобетонная кладка сдерживает эти деформации, то это приводит к возникновению напряжений в штукатурном покрытии (δ), которые превышают его предел прочности при растяжении:

$$\sigma = \Delta \epsilon \cdot \nu \cdot E / (1 - \mu)$$

где: E и μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона штукатурного покрытия;

ν – коэффициент упругопластических деформаций раствора при растяжении;

$\Delta \epsilon$ – разность деформаций штукатурки и газобетонного основания [5].

Для примера:

Минеральный раствор М25:

При: $E = 4 \cdot 10^3$ МПа; $\Delta \epsilon = \epsilon_{шт} = 0,3...0,8$ мм/м или $30...80 \cdot 10^{-5}$; $\mu = 0,3$; $\nu = 0,5$;

При минимальной усадке раствора:

$$\sigma = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 0,85 \text{ МПа}$$

При максимальной усадке раствора:

$$\sigma = 80 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 2,28 \text{ МПа}$$

Минеральный раствор М50:

При: $E = 6 \cdot 10^3$ МПа; $\Delta \epsilon = \epsilon_{шт} = 0,3...0,8$ мм/м или $30...80 \cdot 10^{-5}$; $\mu = 0,3$; $\nu = 0,5$;

При минимальной усадке раствора:

$$\sigma = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 1,28 \text{ МПа};$$

При максимальной усадке раствора:

$$\sigma = 80 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 3,42 \text{ МПа}$$

Минеральный раствор М100:

При $E = 14 \cdot 10^3$ МПа; $\Delta \epsilon = \epsilon_{шт} = 0,3...0,8$ мм/м или $30...80 \cdot 10^{-5}$; $\mu = 0,3$; $\nu = 0,5$;

При минимальной усадке раствора:

$$\sigma = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 11 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 3,0 \text{ МПа}$$

При максимальной усадке раствора:

$$\sigma = 80 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 11 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 8,0 \text{ МПа}$$

Расчетное сопротивление растяжению для расчета по образованию трещин для M25 = 0,3МПа, M50 = 0,35МПа, для M100 = 0,4 МПа, и разрушающего напряжения для M25 = 0,4МПа M50 = 0,5 МПа, для M100 = 0,6 МПа.

Из-за этих напряжений и из-за того, что уменьшение степени гидратации цемента привело к снижению предельной растяжимости материала на 20...50% [3, 5, 6], происходит трещинообразование в штукатурном покрытии, на поверхности и в объеме материала, а также в контактной зоне с газобетонным основанием Рис.1.

В результате формируется дефектная структура материала, включающая поры, трещины, и поры, совмещенные с трещинами. Трещины в штукатурном покрытии распространяются по всем направлениям.

В цементном камне они проходят преимущественно вокруг или через негидратированные зерна цемента, вдоль кристаллов портландита, которые имеют склон-

ность к раскалыванию, а также через поры. Устье трещин располагается около зерен песка, вблизи устья трещин наблюдается множество микротрещин. Трещины имеют разветвления, зигзагообразные включения длиной 10 мкм, а также пересечения. Наблюдаются неразрушенные участки цементного камня, являющиеся мостиками прочности [7, 9].

При эксплуатации стеновая конструкция испытывает тепло-влажностные деформации под воздействием внешней среды, что также создает растягивающие напряжения в штукатурном покрытии и контактной зоне с кладкой (Рис.2).

Градиент деформаций и напряжений наблюдается как в кладке, так и в штукатурном покрытии, а из-за разности коэффициентов температурного расширения возникают деформации и напряжения сдвига в контактной зоне «кладка-штукатурное покрытие» (рис.3).

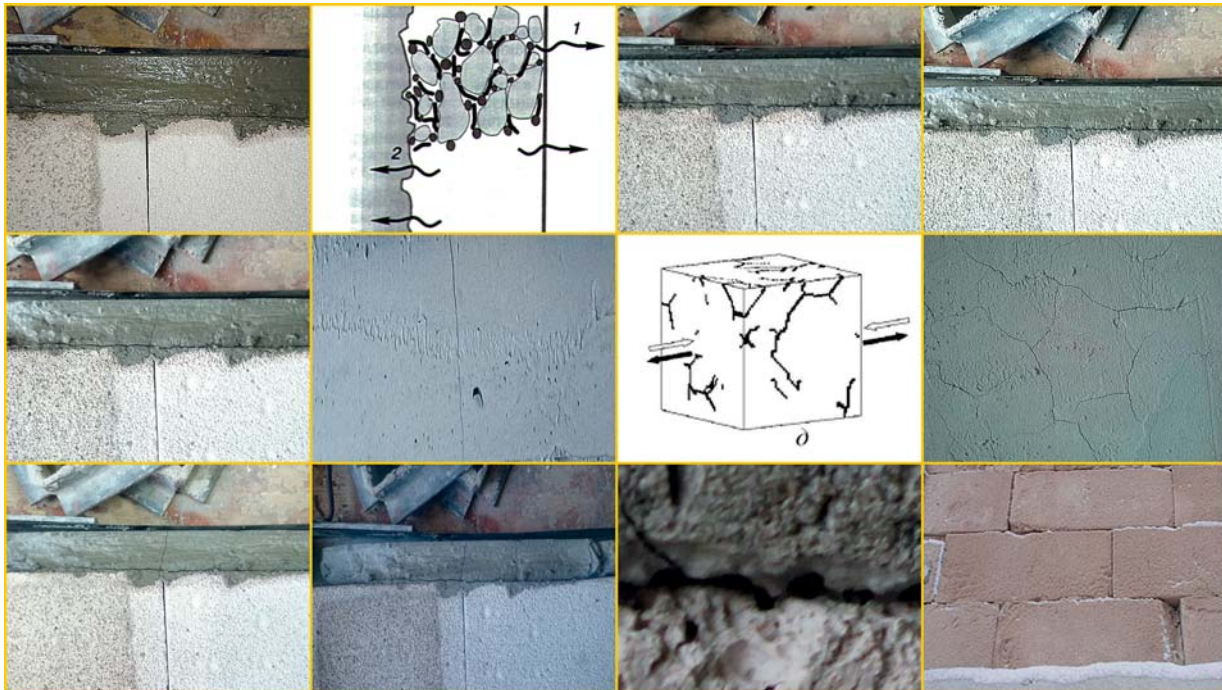


Рис. 1. Трещинообразование в системе «газобетонное основание – штукатурное покрытие»

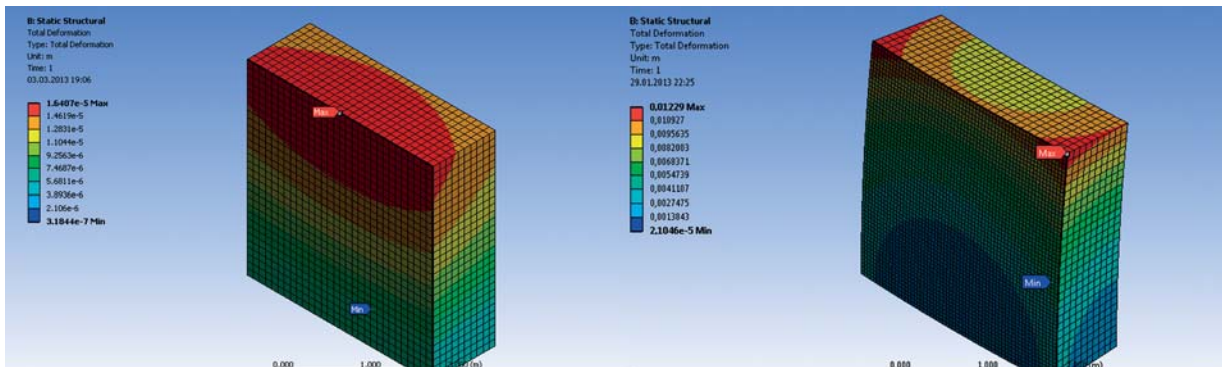


Рис. 2. Изополя деформаций ограждающей конструкции при отрицательных (а) и положительных температурах (б)

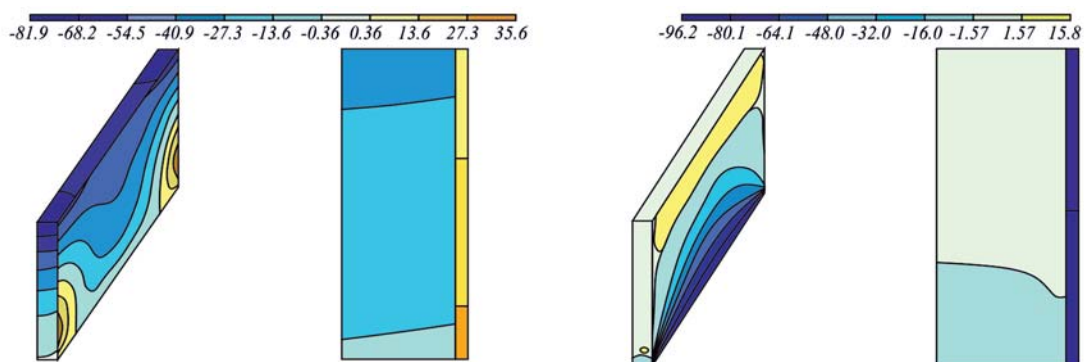


Рис. 3. Изополя деформаций и напряжений в стеновой конструкции и штукатурном покрытии

Это приводит к зарождению новых микротрещин в штукатурном покрытии и развитию макротрещин и магистральных трещин в нем и в контактной зоне между газобетонной кладкой штукатурным покрытием.

Повышению трещиностойкости штукатурного покрытия будет способствовать повышение его прочности на растяжение и предельной деформативности. У немодифицированных штукатурных растворов превалирует доля упругого разрушения. Из-за этого у них значительная скорость развития трещин. Для повышения трещиностойкости и замедления роста трещин необходимо увеличить долю упругопластического разрушения. Анализ уравнения:

$$\sigma = \varepsilon \cdot v \cdot E / (1 - \mu)$$

показывает, что снижению напряжений и повышению трещиностойкости материала будет содействовать повышение его упругопластических характеристик и предельной деформативности (снижение параметров v и E), повышение прочности на растяжение и снижение усадки раствора. Где: E и μ – модуль упругости и коэффициента Пуассона штукатурного покрытия; ε – относительные деформации штукатурного покрытия.

Относительные деформации штукатурного покрытия рассчитывают по формуле:

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

где ε – относительное удлинение; ΔL – изменение размеров штукатурного покрытия; L_0 – размеры штукатурного покрытия на момент твердения;

Величина объемных и линейных изменений размеров штукатурного покрытия рассчитывают по формуле:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t; \Delta t = t_2 - t_1$$

где: ΔL – относительное удлинение или сокращение стеновой конструкции; L_0 – длина стеновой конструкции на момент возведения; α_t – коэффициент температурного расширения автоклавного газобетона; Δt – изменение температуры стеновой конструкции; t_1 – температура окружающей среды в момент возведения газобетонной кладки; t_2 – максимальная и минимальная температура, воздействию которой подвергается стеновая конструкция в летний и зимний периоды;

Анализ уравнения Т. Юнга:

$$\varepsilon = \delta / E$$

указывает на то, что уменьшая модуль упругости (E) штукатурного покрытия, мы можем увеличить его растяжимость (ε), (деформативность), снизить напряжения растяжения (δ) в материале и повысить его трещиностойкость.

Для того, чтобы избежать протекания, вышеописанных деструктивных процессов, образования дефектной структуры штукатурного раствора и контактной зоны его с газобетонным основанием, необходима целенаправленная модификация материала. Введение в растворную смесь модифицирующих добавок: карбонатного заполнителя и наполнителя (отходы добычи известняка ракушечника) и перлитового песка, метилгидроксиэтилцеллюлозы Tylose MB 15009 P2, полипропиленовой фибры, полимерного редиспергируемого порошка Vinparas 8031 H, обеспечило формирование оптимальной структуры штукатурного раствора и контактной зоны его, с газобетонной кладкой, за счет изменения процессов структурообразования которые будут рассмотрены ниже.

Структурообразование полимерцементного штукатурного раствора предопределяется процессами гидратации цемента и формирования полимерных мембран, их взаимодействием с микродисперсным армированием, наполнителем и заполнителем. Процесс включает стадии смачивания, адсорбции, растворения, гидролиза, зародышеобразования, роста кристаллов, рекристаллизации, образование полимерных мембран.

Механизм твердения подполимерцементного штукатурного раствора включает:

- растворение цемента и полимеров, гидратацию цемента с образованием геля и зародышеобразованием кристаллогидратов

- адсорбции полимерных частиц на поверхности геля, кристаллогидратов, мелкого заполнителя и наполнителя
- формирования контактной зоны полимерцементной матрицы с мелким заполнителем и наполнителем
- формирование контактной зоны «газобетонная кладка-штукатурное покрытие»
- сращивание кристаллогидратов между собой и прорастание их через полимерные мембраны
- испарение воды и образование полимерных мембран как завершающий этап структурообразования полимерцементного композита

Рассмотрим процессы структурообразования подробней. Гидратация цемента начинается после смешивания с водой. В процессе гидратации безводные клинкерные минералы (силикаты, алюминаты и аллюмоферриты кальция) превращаются в соответствующие кристаллогидраты – гидросиликаты, гидроалюминаты, гидроферриты кальция, гидроксид кальция. Сперпластификатор, адсорбируясь на гидратирующихся цементных зернах, уменьшает их агрегацию и дезагрегирует образовавшиеся цементные конгломераты. Быстро (30-60 сек), происходит диспергирование в воде редиспергируемого полимерного порошка (РПП), образование водной дисперсии, частиц с размером 0,01-0,5 мкм (рис. 4).

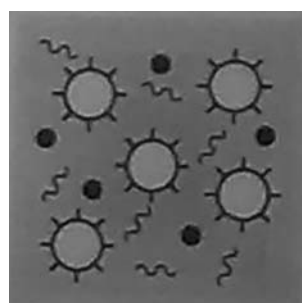


Рис. 4. Образование водной дисперсии полимеров из РПП

При достижении некоторой критической концентрации дисперсных фаз в жидкой среде, агрегативно неустойчивая система переходит к коагуляционной структуре. Возникает объемный пространственный каркас образуемый дисперсными частицами, которые соединены между собой через тонкие водные прослойки и водные дисперсии полимеров.

Полимерные частицы оседают на поверхности цементного геля, непрогидратированных зернах цемента, мелкого заполнителя и агрегируются в виде рыхлых полимерных мембран, в объем которых входят молекулы воды (рис.5).

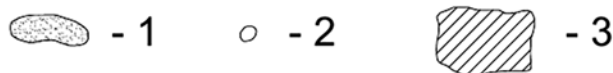
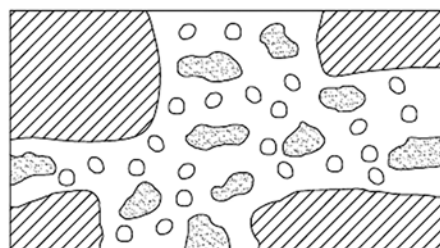


Рис. 5. Структура полимерцементного штукатурного раствора после смешивания с водой
1. Непрогидратированные зерна цемента
2. Частицы полимера
3. Зерна мелкого заполнителя и наполнителя

Частицы метилцеллюлозы, рассеянные между зернами цемента, адсорбируются на их активных центрах. Ее молекулы, удерживая воду силами межмолекулярного взаимодействия (силами Ван-дер-Ваальса), образуют аквакомплексы, оказывая замедляющий эффект, обеспечивая равномерность и большую степень гидратации цемента [8].

В дальнейшем происходит зарождение зародышей кристаллов новообразований и структура принимает вид (рис. 6). При этом, прочных химических связей между неорганической и органической составляющей структуры не наблюдается, а взаимодействие имеет коагуляционный характер, основанный на слабых водородных и ван-дер-ваальсовых связях.

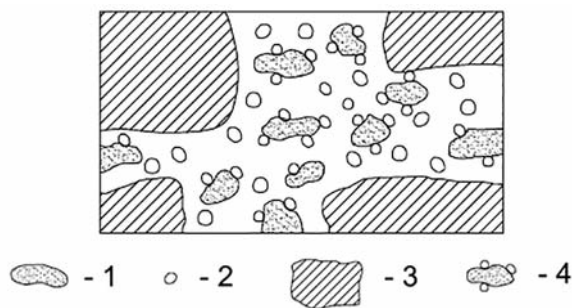


Рис. 6. Коагуляционная структура полимерцементного штукатурного раствора
 1. Непрогидратированные зерна цемента
 2. Частицы полимера
 3. Зерна мелкого заполнителя и наполнителя
 4. Полимерные частицы

Важным элементом структуры является контактная зона между полимерцементным камнем, заполнителем и наполнителем. Формирование ее начинается уже на начальной стадии твердения растворной смеси. Поверхность зерен заполнителя и наполнителя, выполняющая роль подложки, облегчающей образование зародышей кристаллогидратов.

На поверхности кварцевого песка, выделяются кристаллические зародыши, представленные преимущественно гидросиликатами кальция. На высокодисперсных частицах шлака, входящих в состав шлакопортландцемента, происходит осаждение продуктов гидратации, эти частицы служат центрами нуклеации и кристаллизации. На их поверхности происходит хемосорбция OH^- , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ из жидкой фазы, что препятствует образованию кристаллизации этtringита, и начинается пуццолановая реакция. Происходит образование дополнительного количества $\text{CSH}(1)$ за счет взаимодействия $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с активным кремнеземом или алюмосиликатом наполнителя. Следствием этого является образование дополнительных фазовых контактов (контактов срастания между кри-

сталлогидратами), что улучшает структуру композита.

Наблюдается химического взаимодействия известняка с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, в результате чего образуются гидрокарбонат кальция $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, прочно связывающий кристаллы гидроксида кальция с поверхностью известняка. В присутствии известняка наблюдается увеличение скорости гидратации трёхкальциевого силиката [1,8]. При взаимодействии с трёхкальциевым алюминатом (C_3A) и продуктами его гидратации, образуется гидрокарбоалюминатные фазы ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и др.), что хорошо иллюстрируют данные рентгенофазового анализа (рис. 7). Этим объясняется повышенная механическая прочность контактной зоны между цементным камнем и карбонатной породой [10].

Заполнители из вулканических горных пород (перлит, вермикулит) также активно взаимодействуют с минералами портландцемента (рис.7). При использовании керамзитового песка, входящие в его состав аморфизованное глинистое вещество и алюмосиликатное стекло, взаимодействуют с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образуя преимущественно гидросиликаты.

Наличие полимера в полимерцементном вяжущем увеличивает его сцепление с заполнителем. Рост сцепления объясняется тем, что жидкая фаза цементного камня, содержащая полимерные частицы, ионы кальция, алюминатные и кремнийкислородные анионы, проникает в поры заполнителя, а протекающие процессы гидратации и полимеризации прочно соединяют контактирующие материалы.

В дальнейшем происходит увеличение количества кристаллов новообразований их рост и слияние. Возрастает прочность и вязкость образовавшейся структуры (рис. 8).

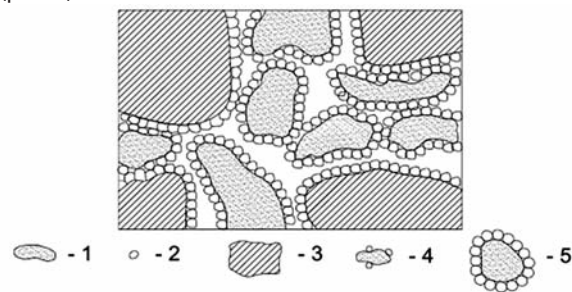


Рис. 8. Коагуляционно-кристаллизационная структура полимерцементного штукатурного раствора

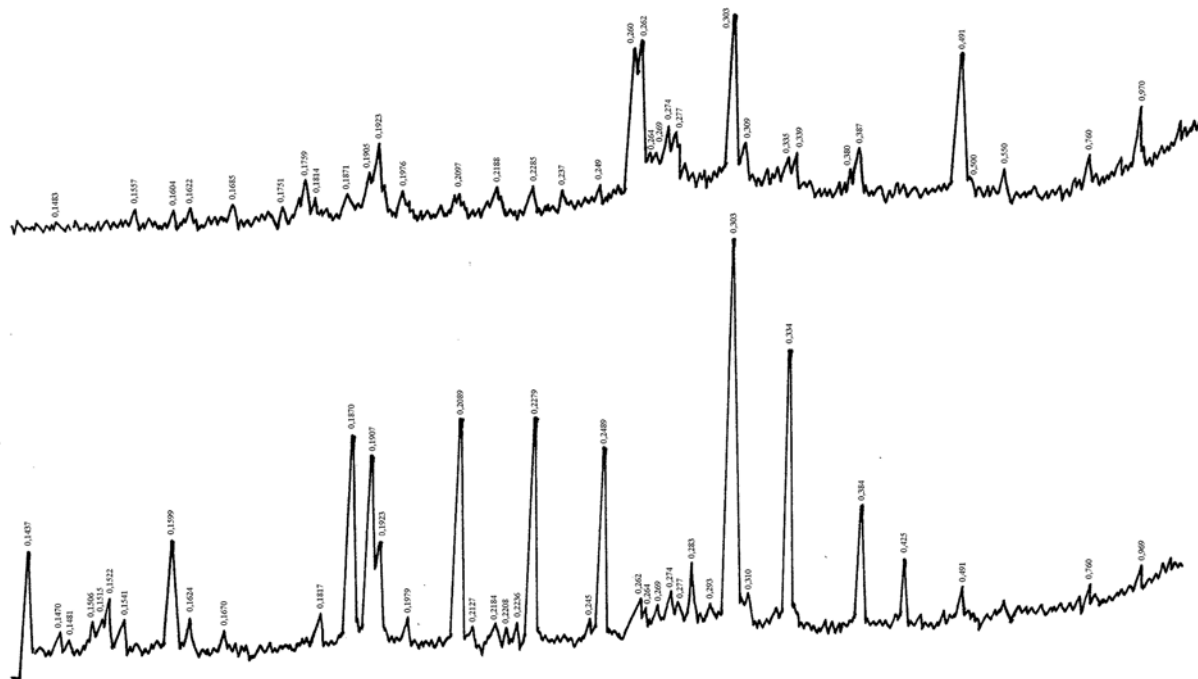


Рис. 7. Данные рентгенофазового анализа полимерцементных штукатурных растворов

В результате гидратации цемента, часть воды химически связывается, происходит также частичное ее испарение. Это приводит к коагуляции полимерной фазы и образованию фрагментов мембран между кристаллами новообразований, заполнителем и наполнителем.

В последующий период происходит взаимное прорастание двух фаз (неорганической и органической), полимерная составляющая заполняет поровое пространство и возникающие дефектные места, уплотняя и соединяя их дополнительно (рис.9,10а).

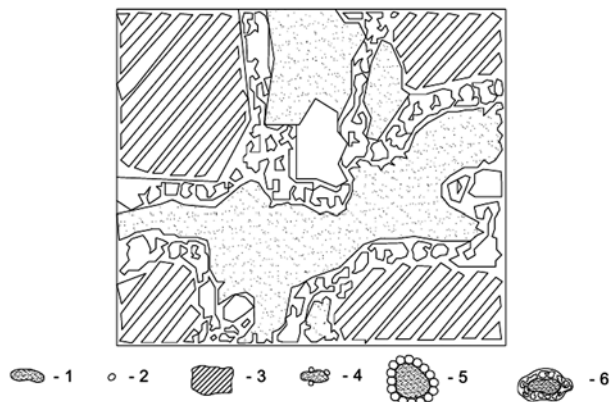


Рис. 9. Структура затвердевшего раствора

1. Непрогидратированные зерна цемента
2. Частицы полимера
3. Зерна мелкого заполнителя и наполнителя
4. Смесь непрогидратированных частиц цемента и цементного геля с осажденными на их поверхности частичками полимера
5. Смесь цементного геля и непрогидратированных частиц цемента, окруженных плотно упакованным слоем полимерных частиц
6. Гидраты цемента, окруженные полимерными пленками или мембранами. 7. Вовлеченный воздух.

Полимерная фибра в результате этих процессов оказывается в полимерцементной матрице, прочно соединяясь с ней (рис.10б). В результате этого образуется полимерцементный конгломерат который состоит из непроореагировавших с водой частиц клинкера, цементного геля, кристаллов новообразований, полимерных пленок адсорбированных на частицах геля и кристаллах новообразований, полимерной фибры и пор, заполненных воздухом или водой (рис.10,11а).

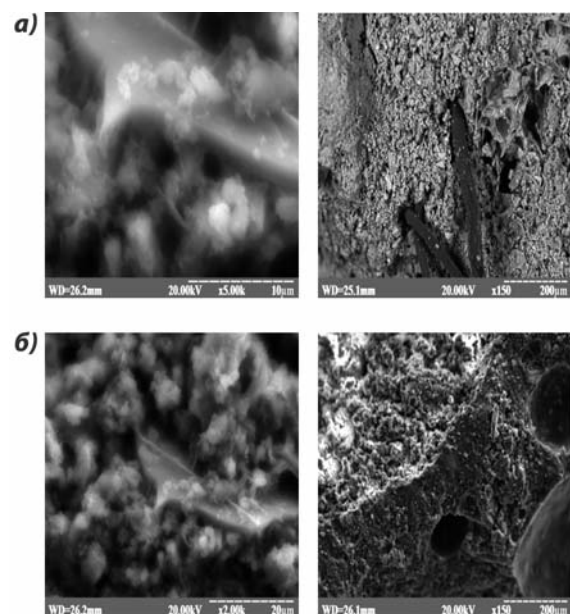


Рис. 10. Наличие полимерных мембран (а) и фибры в структуре материала

Одновременно протекают процессы формирования контактной зоны штукатурного покрытия с газобетонной кладкой. Они включают: адсорбцию и хемосорбцию, диффузию и др. Жидкая фаза растворной смеси, содержащая полимерные ча-

стицы, ионы кальция, алюминатные и кремнийкислородные анионы, проникает в поры газобетонной кладки. Гидросиликаты, гидроалюминаты газобетонной кладки, выполняют роль центров кристаллизации, ускоряя твердение полимерцементного раствора и формирование бездефектной контактной зоны. В результате получаем штукатурное покрытие, связанное с кладкой как химически, молекулярным притяжением, так и механически, за счет сцепления полимерцементного раствора с неровностями поверхности газобетонной кладки (рис.11б).

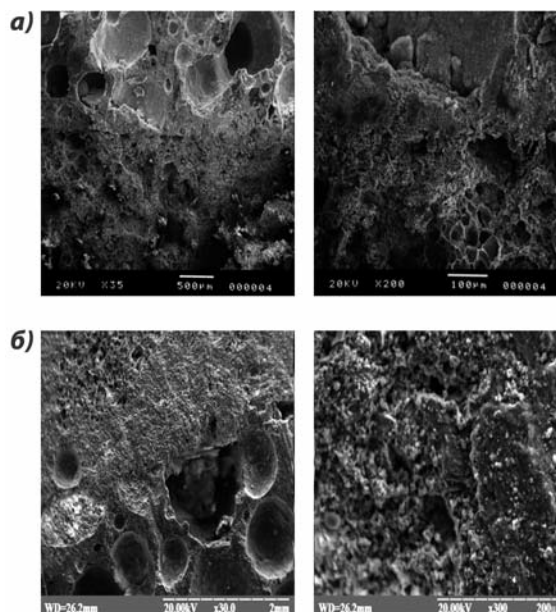


Рис. 11. Структура полимерцементного штукатурного раствора (а) и его контактной зоны с газобетонным основанием

Такой материал имеет большую деформативность, меньший модуль упругости, что приведет к повышению его трещиностойкости. Так если в цементной штукатурке, с пределом прочности при сжатии 5-15 МПа, при растяжении 1,5 МПа, деформациями усадки 0,7 мм/м и средним модулем упругости 15 000 МПа (10 000-30000 МПа), растягивающие напряжения в среднем составляют: $\delta = 15\ 000 \cdot 0,7 = 10,5$ МПа (7-21 МПа). Что существенно, в 5 – 42 раза, превышает предел прочности штукатурки при растяжении.

То в полимерцементном штукатурном покрытии с деформацией (0,3-0,4мм/м), модулем упругости составит 500-2500 МПа [187], растягивающие напряжения составят 0,2-1,0 МПа, что в 1,5-7,5 раз меньше предела прочности штукатурки при растяжении. Учитывая, что растяжимость полимерцементного раствора в 6-10 раз больше чем у немодифицированного, снижение модуля упругости позволит уменьшить напряжения и трещинообразование в штукатурном покрытии.

Уменьшение модуля упругости штукатурного покрытия приведет к уменьшению напряжений сдвига (τ), которые определяют развитие трещины в контактной зоне с газобетонным основанием:

$$\tau = [\Delta T_1 \alpha_1 - \Delta T_2 \alpha_2] / \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right]$$

где: τ – напряжение сдвига от температурных деформаций, кгс/см²; ΔT_1 , ΔT_2 – разность температуры штукатурного покрытия и кладки, °С; α_1 , α_2 – коэффициент термического расширения кладки и штукатурного покрытия; E_1 , E_2 – модули упругости кладки и штукатурного покрытия, кгс/см²;

Если при модуле упругости газобетона D400 – 1250-1734 МПа, цементной штукатурки 15000 МПа, $\alpha_1 = 8 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$, известкового раствора (1:4) $\alpha_2 = 9 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$; цементного раствора (1:4) $\alpha_2 = 10,4 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$, сложного раствора $\alpha_2 = 6 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ [39,248]; $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 50$ °С напряжения сдвига составят: для обычных растворов 0,14 МПа, то для модифицированных 0,08 МПа.

Величины напряжений в штукатурном покрытии зависят от свойств материала кладки и штукатурного покрытия. Нами был произведен расчет, при помощи программы «Ли́ра» и двухфакторного плана, величины напряжений в штукатурном покрытии при широкой комбинации вариантов этих показателей (рис.12,13).

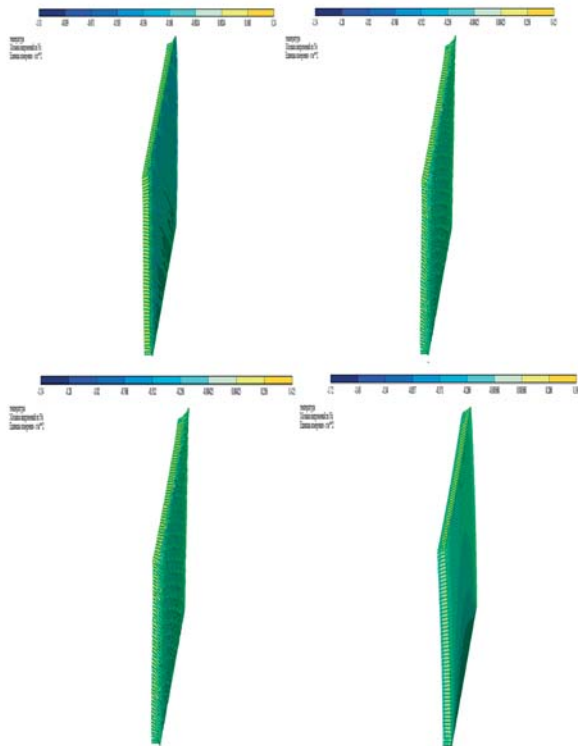


Рис. 12. Напряжения в штукатурном покрытии

Полученные данные свидетельствуют о влиянии характеристик газобетонной кладки и штукатурного покрытия на напряженное состояние последнего. При отрицательных температурах наибольшее влияние на напряженное состояние штукатурного покрытия оказывает его собственные свойства. При уменьшении средней плотности, прочности и модуля упругости, напряжения сжатия в штукатурном покрытии уменьшаются (Рис.13а). При плюсовых температурах, на напряженное состояние штукатурного покрытия оказывает

влияние, как свойства штукатурного покрытия, так и газобетонной кладки. При уменьшении средней плотности, прочности при сжатии и модуля упругости материала кладки и штукатурного раствора, напряжения в штукатурном покрытии также существенно уменьшается (рис.13б).

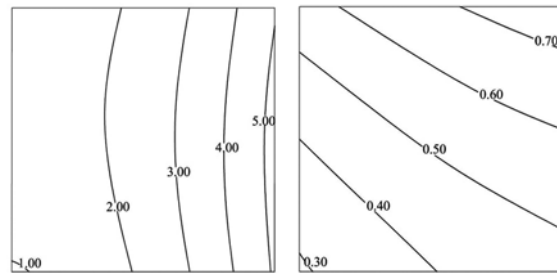


Рис. 13. Напряжения в штукатурном покрытии из-за температурных деформаций при минусовых и плюсовых температурах, т/м²

Выводы

Нормативные требования, предъявляемые к штукатурным растворам для стен из автоклавного газобетона противоречивы и по нашему мнению, не всегда обоснованы. Необходимы критерии для назначения свойств материала (прочности при сжатии и при изгибе, адгезия и др.), должны быть напряжения, возникающие в штукатурном покрытии при твердении и эксплуатации.

Штукатурный раствор, следует рассматривать как покрытие, связанное с кладкой через контактную зону. Необходимо выбирать компоненты смеси и их количество с учетом процессов протекающих при твердении штукатурного покрытия и разрушении системы «кладка-штукатурное покрытие». Их применение должно обеспечить снижение напряжений в штукатурном покрытии и контактной зоне до величин, меньших, чем, разрушающие напряжения.

В статье приведены компоненты при помощи которых решалась данная проблема, механизм их действия и как результат, снижение напряжений в системе «кладка-штукатурное покрытие» и повышение трещиностойкости штукатурного покрытия.

Литература:

1. Особенности технологии возведения и эксплуатации наружных стен из автоклавного газобетона / Парута В.А., Семина Ю.А., Столяр Е.А., Устенко А.В., Брынзин Е.В., // Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века, №12, Москва, 2012, С. 35-39.
2. Грануа Э. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях. Москва. Стройиздат. 1980.- с.217.
3. Сажнева Н.Н., Сажнев Н.П., Урецкая Е.А. Защитные системы для отделки ячеистого бетона пониженной плотности // Строительные материалы. 2009. №1. С. 17-19.
4. Халимов Р.К. Исследование совместной работы строительных материалов в составе современных многослойных теплоэффективных наружных стен зданий, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Специальность: 05.23.05 – Строительные материалы и изделия; Уфа, 2007. 178с.
5. Я. Паплавскис, А. Фрош, Требования к штукатурным составам для наружной отделки стен из ячеистых бетонов. Проблемы эксплуатационной надежности наружных стен на основе автоклавных газобетонных блоков и возможности их защиты от увлажнения. Штукатурные составы для наружной отделки стен из газобетона: материалы семинара; под редакцией Н.И.Ватина, – СПб:

Изд-во. Политехнического ун-та, 2010, С.10-15.

6. Struble L. Microstructure and Fracture at the Cement Paste-Aggregate Interface. Микроструктура и трещинообразование на поверхности раздела между цементным камнем и заполнителем //Bond. Cementitious Compos.: Symp., Boston, Mass., Dec.2-4, 1987. -Pittsburgh (Pa), -1988. -pp.11-20.
7. Галкин С.Л., Сажнев Н.П., Соколовский Л.В., Сажнева Н.Н. «Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика», «Стринко», Минск, 2006., 448с.
8. Powers T.S. A Hypothesis on carbonation shrinkage. Journal of Portland Cement Association. –Research Development Laboratoru. 1962, v.4, No.2.pp.26-31.
9. Vasicek J. Trvanlivost a odolnost autoklavovanych porovitych betonu pri posobeni susnych vnejsich jevu. – Stavivo, 1965. № 6.,pp.24-28.
10. Monteiro P.J.M., Mehta P.K. Interaction between Carbonate Rock and Cement Paste. Взаимодействие карбонатного заполнителя с цементным тестом // Cem. and Concr. Res. -1986. – № 2. – pp. 127-134
11. Гринфельд Г. И. Инженерные решения обеспечения энергоэффективности зданий. Отделка кладки из автоклавного газобетона : учеб. пособие / Г.И. Гринфельд. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 130 с.