



Парута В. А.



Бринзін Е. В.

Парута В.А., к.т.н., доцент,
Одеська державна академія будівництва і архітектури (ОГАСА),
вул. Дідріхсона 4, м. Одеса, 65029, Україна,
e-mail: docent2155@gmail.com, тел. 0487238434

Бринзін Е.В., к.т.н., начальник відділу маркетингу ТОВ «ЮДК»,
вул. Александра Оцупа, 7Д, м. Дніпро, 49051, Україна,
www.udkgazbeton.com, e-mail: Yevgen.Brynzin@udkgazbeton.com,
тел. +380(562)33-80-09

Paruta V.A., Cand.Tech.Sci., PhD,
Odessa state academy of construction and architecture (OGASA),
Didrikhson St. 4, Odessa, 65029, Ukraine,
e-mail: docent2155@gmail.com, ph. 0487238434

Brynzin E.V., Cand.Tech.Sci., PhD, head of marketing department of LLC
UDK, Alexander Otsup St., 7D, Dnieper, 49051, Ukraine, www.udkgazbe-
ton.com, e-mail: Yevgen.Brynzin@udkgazbeton.com,
ph. +380(562)33-80-09

КОНЦЕПЦИИ И КРИТЕРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ

КОНЦЕПЦІЇ І КРИТЕРІЇ ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ ШТУКАТУРНИХ РОЗЧИНІВ

CONCEPTS AND CRITERIA OF PROJECTION OF COMPOSITION OF PLASTER SOLUTIONS

Анотация. Важным элементом системы «кладка-штукатурное покрытие» является контактная зона между ними. Она в значительной мере предопределяет совместность их работы в составе стеновой конструкции. Для управления формированием контактной зоны необходимо рассмотрение процессов, протекающих в ней, при нанесении штукатурного раствора, его твердения и эксплуатации стеновой конструкции. В работе предложены концепции и критерии на основе которых разработаны механизм управления этим процессом. Следует рассматривать три концепции для решения проблемы: эластичности штукатурного покрытия, демпфирующей прослойки между кладкой и штукатурным покрытием, а также объединенная по которой эластичными должны быть как штукатурное покрытие, так и контактная зона.

Ключевые слова. Система «кладка-штукатурное покрытие», контактная зона в этой системе, концепции и критерии для проектирования свойств штукатурных растворов.

Анотація. Важливим елементом системи «кладка-штукатурне покриття» є контактна зона між ними. Вона значною мірою зумовлює спільність їх роботи у складі стінової конструкції. Для управління формуванням контактної зони необхідно розглянути процеси, що протікають в ній, при нанесенні штукатурного розчину, його твердінні та експлуатації стінової конструкції. У роботі запропоновані концепції і критерії на основі яких розроблені механізми управління цим процесом. Слід розглядати три концепції для вирішення проблеми: еластичності штукатурного покриття, демпфуючого прошарку між кладкою і штукатурним покриттям, а також об'єднаної, по якій еластичними мають бути як штукатурне покриття, так і контактна зона.

Ключові слова. Система «кладка-штукатурне покриття», контактна зона в цій системі, концепції і критерії для проектування властивостей штукатурних розчинів.

Annotation. Important element of system «a laying – the plaster covering» is a contact zone between them. She considerably predetermines compatibility of their work as a part of a wall design. Management of formation of a contact zone requires consideration of the processes proceeding in it when putting plaster solution, his curing and operation of a wall design. In work concepts and criteria on the basis of which are developed the mechanism of management of this process are offered. It is necessary to consider three concepts for a solution: the elasticity of a plaster covering damping layers between a laying and a plaster covering, and also united on which elastic there have to be both a plaster covering and a contact zone.

Keywords. System «a laying – a plaster covering», a contact zone in this system, the concept and criterion for design of properties of plaster solutions.

Постановка проблемы

Долговечность стеновой конструкции в значительной мере зависит от количества дефектов в штукатурном покрытии и контактной зоне между ним и кладкой. Разрушение системы «кладка-штукатурное покрытие» связано с образованием, накоплением и развитием дефектов (микро- и макротрещин), как в штукатурном покрытии, так и в контактной зоне его с кладкой.

Поэтому, для оценки ресурса работы такой системы, необходимо знание процессов и стадий зарождения, накопления поврежденных и роста макротрещин. Необходимо определить внутренние и внешние факторы, при твердении и эксплуатации, степень их воздействия и произвести расчет напряженного состояния, под воздействием этих факторов.

Знание энергетических и силовых параметров процесса разрушения позволит проектировать такие количественные показатели штукатурного раствора, которые обеспечить оптимальную работу системы «кладка-штукатурное покрытие» и высокую долговечность стеновой конструкции.

Важным элементом такой системы является контактная зона между кладкой и штукатурным покрытием. Она предопределяет совместность работы кладки и штукатурного покрытия в стеновой конструкции. Кладка из автоклавного газобетона обладает высоким капиллярным потенциалом из-за значительного объема пор (520 мм³/г) и их удельной поверхности (22-34м²/г) [1]. При на-

несении известково-цементной растворной смеси на кладку, из-за ее низкой водоудерживающей способности, происходит отсасывание жидкости из нее, лиофильными порами и капиллярами материала кладки (рис1б). Скорость заполнения поры (v) определяется уравнением Пуазейля:

$$v = (r^2/8\eta) \cdot (\Delta p / l) \quad (1)$$

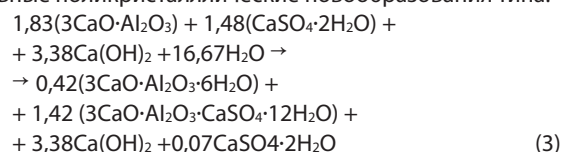
где l – глубина проникновения жидкости, η – ее вязкость, Δp – перепад давления на участке l, равный капиллярному давлению мениска:

$$\Delta p = - 2\sigma_{12} \cos q / r.$$

Если краевой угол (q) не зависит от скорости (v), то количество впитавшейся жидкости за время t определяют из отношения:

$$l(t) = (rts_1 2 \cos q / 2h)^{1/2} \quad (2)$$

Это приводит к тому, что растворения цемента и образования пересыщенного раствора происходит при пониженном содержании воды. Из-за этого, не происходит полная гидратация цемента, образуются неравновесные, метастабильные поликристаллические новообразования типа:



Потеря воды приводит к усадке штукатурного раствора (пластической и гидратационной). Гидратационная усадка цементных растворов составляет 0,3...0,8 мм (в среднем 0,4...0,5 мм/м или $40...50 \cdot 10^{-5}$), пластическая может превышать гидратационную в 5-10 раз и составлять 2...5 мм/м ($200-500 \cdot 10^{-5}$) [2]. В результате, в контактной зоне «кладка-покрытие» образуются трещины и полости (рис. 1. г, д).

При эксплуатации они развиваются и объединяются в магистральную трещину. Причинами развития трещин в контактной зоне являются деформации кладки (температурные, влажностные, усадки) (рис. 2) [3, 4], разность деформаций штукатурного покрытия и кладки, воздействия влаги, льда и агрессивных веществ.

Величину линейных изменений размеров кладки при температурных воздействиях определяют из выражения [5]:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t \quad (4)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (5)$$

где: ΔL – относительно удлинение или сокращение стеновой конструкции; L_0 – длина стеновой конструкции на момент возведения; α_t – коэффициент температурного расширения автоклавного газобетона, $\alpha_t = 8 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ [1,5], 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.

Зимой для кладки, выполненной летом при $+30^\circ\text{C}$, коэффициенте температурного расширения газобетонной кладки $8 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$ и изменении температуры от $+30$ до -20°C , $\Delta t = 50^\circ\text{C}$, полная деформация сжатия составит:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t = 8 \cdot 0,000008 \cdot 50 = 0,0032\text{м} = 3,2\text{мм};$$

$$\Delta t = 50^\circ\text{C}$$

Летом, при нагреве до $+80^\circ\text{C}$ [1], деформация расширения составит:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t = 8 \cdot 0,000008 \cdot 50 = 0,0032\text{м} = 3,2\text{мм};$$

$$\Delta t = 50^\circ\text{C}$$

В общем виде деформации стеновой конструкции показаны на (рис. 3). Пики на графиках приходится на лето, а для зимы характерна самая низкая точка на графике.

Кладка и штукатурное покрытие имеют разные по величине температурные деформации. Зимой деформация сжатия штукатурного покрытия (цементный раствор 1:4) составит 0,55 мм/м, а полная деформация штукатурного покрытия, например стены длиной 8м:

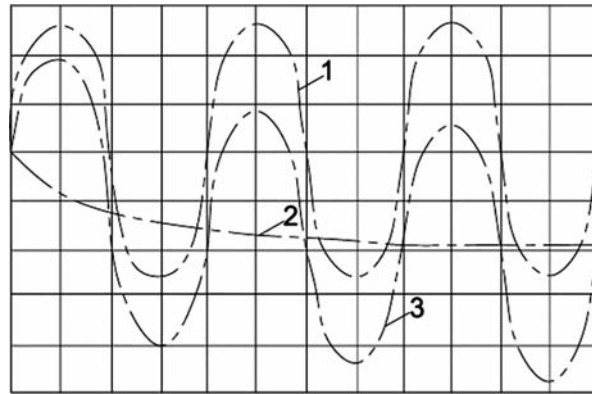


Рис. 3. Температурные (1), усадочные (2) и суммарные деформации (3) и стеновой конструкции при эксплуатации

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t = 8 \cdot 0,0000104 \cdot 50 = 0,0044\text{м} = 4,4\text{мм};$$

$$\Delta t = 50^\circ\text{C}$$

Деформация сжатия штукатурного покрытия (сложный раствор) составит 0,3 мм/м, а полная деформация штукатурного покрытия:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t = 8 \cdot 0,000006 \cdot 50 = 0,0024\text{м} = 2,4\text{мм};$$

$$\Delta t = 50^\circ\text{C}$$

При нагреве до $+80^\circ\text{C}$ [1], деформация расширения газобетонной кладки составит 0,4 мм/м, а ее полная деформация:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t = 8 \cdot 0,000008 \cdot 50 = 0,0032\text{м} = 3,2\text{мм};$$

$$\Delta t = 50^\circ\text{C}$$

Деформация расширения штукатурного покрытия (цементный раствор 1:4) составит 0,55 мм/м, а полная деформация штукатурного покрытия:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t = 8 \cdot 0,0000104 \cdot 50 = 0,0044\text{м} = 4,4\text{мм};$$

$$\Delta t = 50^\circ\text{C}$$

Деформация расширения штукатурного покрытия (сложный раствор) составит 0,3 мм/м, а полная деформация:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t = 8 \cdot 0,000006 \cdot 50 = 0,0024\text{м} = 2,4\text{мм};$$

$$\Delta t = 50^\circ\text{C}$$

Деформации расширения или сжатия, вызывают напряжения (σ) в кладке и штукатурном покрытии котрое можно определить преобразовав уравнение:

$$\Delta L : L_0 = \sigma : E \quad (6)$$

где: ΔL – относительно удлинение или сокращение стеновой конструкции; L_0 – длина стеновой конструкции на момент возведения; σ – напряжения в Н/мм 2 ; E – модуль упругости в Н/мм 2 [5].

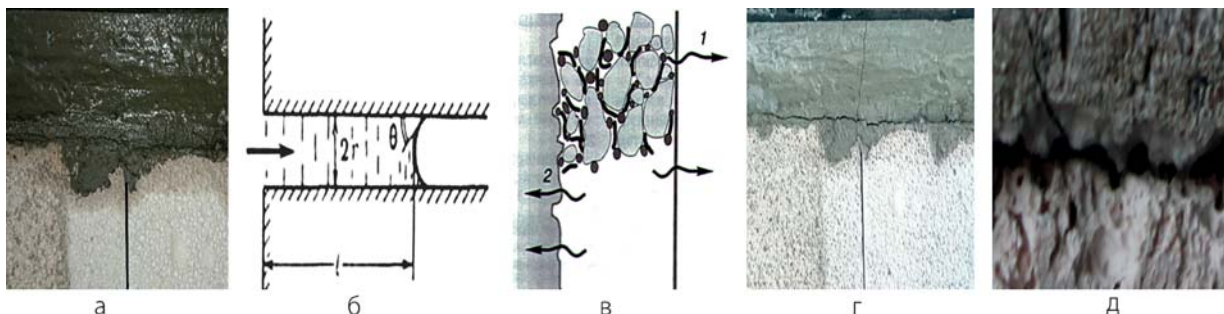


Рис. 1. Трещинообразование: в контактной зоне «кладка-покрытие»

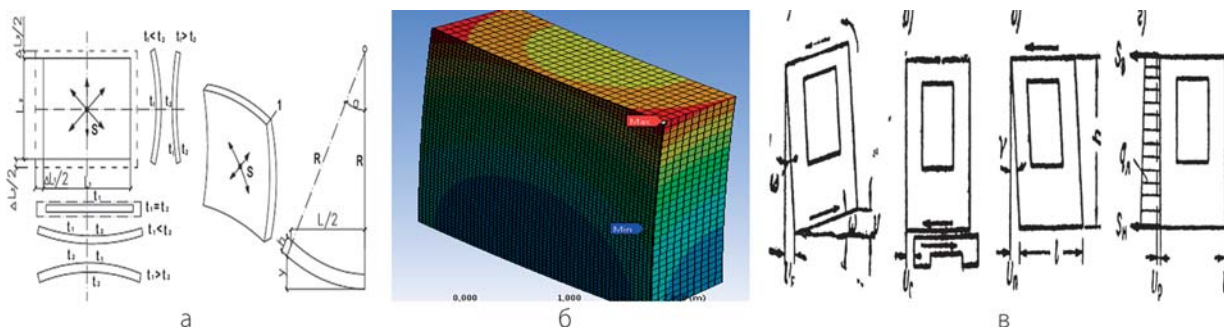


Рис. 2. Температурные и влажностные деформации кладки (а, в) и напряжения в ней (б)

Деформации изгиба кладки (рис. 4а), разность деформаций и модулей упругости, ее и штукатурного покрытия, являются причиной деформаций сдвига в контактной зоне «кладка-штукатурное покрытие» (рис.4а,4.б).

Как следствие, в контактной зоне между ними, возникают напряжения сдвига (τ) (рис. 5), которые определяют развитие трещины в контактной зоне:

$$\tau = [\Delta T_1 \alpha_1 - \Delta T_2 \alpha_2] / [1/E_1 + 1/E_2] \quad (7)$$

где: τ – напряжение сдвига от температурных деформаций, кгс/см²; $\Delta T_1, \Delta T_2$ – разность температуры в момент устройства и эксплуатации штукатурного покрытия и кладки, °С; α_1, α_2 – коэффициент температурного расширения кладки и штукатурного покрытия; E_1, E_2 – модули упругости кладки и штукатурного покрытия, кгс/см²;

На поле напряжений, возникающем в контактной зоне, из-за разности температурных и влажностных деформаций, накладываются касательные напряжения (τ_k) из-за массы штукатурного покрытия (рис.6) [6].

$$\tau_k = \rho \cdot [(-1,5\delta^3/h^2) - 4\delta] \quad (7)$$

где: δ -толщина штукатурного покрытия, м; ρ -средняя плотность штукатурного раствора, кг/м³; τ_k -напряжения в контактной зоне; h -высота штукатурного покрытия, м;

Разрушение контактной зоны обусловлено действием тангенциальных напряжений, вместе с растягивающими усилиями в перпендикулярном направлении к плоскости стены. Напряжения распределены неравномерно и участки, подверженные более высоким напряжениям, разрушаются в первую очередь, уменьшая тем самым прочность всей контактной зоны в целом. Эти напряжения могут превысить адгезионную прочность, и тогда происходит старт магистральной трещины.

Это происходит по механизму, который включает зарождение и развитие микротрещин в зоне предразрушения и их объединение в макротрещину. Основной причиной ее развития является изменение деформации и напряжения в вершине трещины, возникающие при увлажнении и высушивании, нагревании и охлаждении стеновой конструкции, замораживании и оттаивании влаги находящейся в трещине. При нагревании или увлажнении, или при их совместном воздействии, происходит рост деформаций, что приводит к увеличению радиуса кривизны вершины трещины. До тех пор пока уровень напряжений будет меньше предельного значения адгезионной прочности, трещина не растет. При дальнейшем росте деформации, напряжения в устье трещины превзойдут предельный уровень, что приведет к ее подрастанию (рис. 7).

На обратном ходе цикла нагружения (снижении температуры или влажности), происходит частичное восстановление геометрии вершины трещины и размера упругопластической зоны, однако, в дальнейшем трещина увеличивает свою длину.

Разрушение имеет усталостный характер, при относительно низком уровне напряжений и частой их цикличности. Это связано с характером разрушающей нагрузки и тем, что и в процессе возникновения трещины и ее распространения, участвует пластическая деформация из-за наличия цементного геля, так как в противном случае ничто не останавливало бы трещину от бесконечного роста во время одного цикла на-

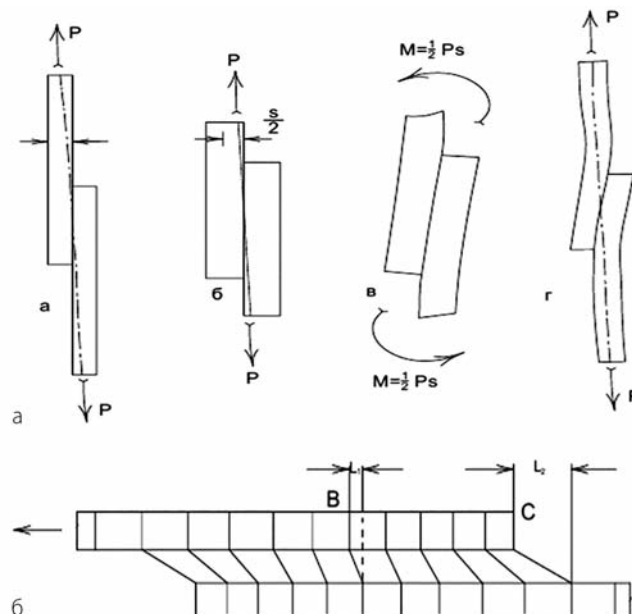


Рис. 4. Изгиб стеновой конструкции (а) и деформации сдвига в контактной зоне «кладка-покрытие» (б)

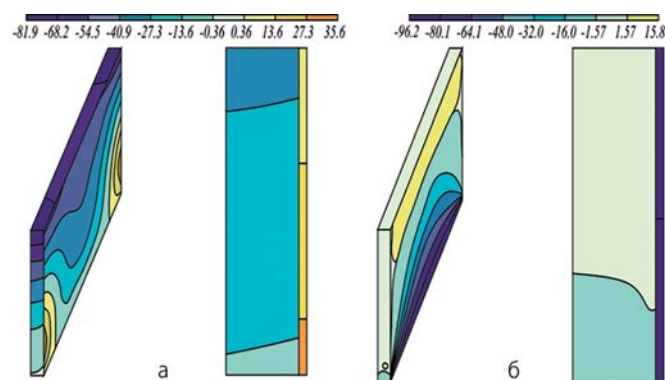


Рис. 5. Температурные деформации (а) и напряжения сдвига (б) в контактной зоне «кладка-покрытие»

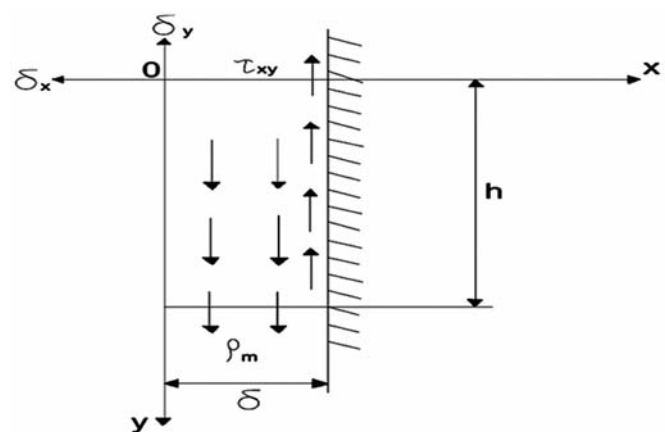


Рис. 6. Касательные напряжения в контактной зоне «кладка-покрытие» из-за массы покрытия

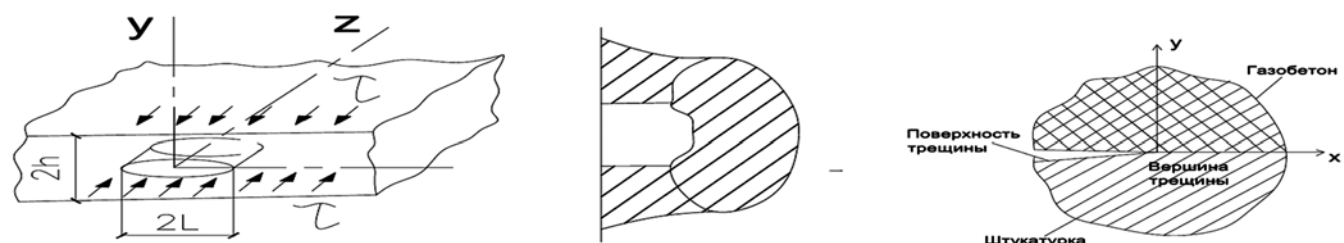


Рис. 7. Старт магистральной трещины в контактной зоне «кладка-покрытие»

гружения. Трещина может остановиться на некоторое время, так как не хватает энергии на обеспечение динамического роста, но в дальнейшем происходит ее развитие. Скорость развития магистральной трещины (dl/dN) определяется уравнением [7]:

$$dl/dN = A(\Delta K)^n \quad (8)$$

где: N – число циклов; A и n – эмпирические коэффициенты, $n = 2 - 7$, с увеличением хрупкости материала n увеличивается; $\Delta K = K_{\max} - K_{\min}$ – перепад коэффициента интенсивности напряжений за один цикл. Коэффициент интенсивности напряжений цементного раствора в зависимости от V/C отношения имеет следующие значения: при $V/C=0,35-0,67$ коэффициент интенсивности напряжений составляет $0,8-0,41$.

Вода также способствует развитию магистральной трещины в контактной зоне. Причин появления влаги в контактной зоне, несколько. Наличие на фасаде плотной, с малой паропроницаемостью штукатурки, приводит к конденсации и накоплению парообразной влаги, которая идет из помещения, между штукатурным слоем и наружной плоскостью кладки. Атмосферная влага проникает через трещины (более $0,2$ мм) в контактную зону, благодаря гидрофильности материала, а также кинетической энергии, которой она обладает, скатываясь по плоскости стены [8]. Попадая в трещину, вода получает повышенную плотность и вязкость, а ее упругость становится равной упругости материала. Упругость влаги повышается к вершине трещины и в результате увеличивается расклинивающее действие влаги. В устье магистральной трещины образуются растягивающие напряжения (рис. 8а), что приводит к значительному снижению адгезионной прочности и дальнейшему развитию магистральной трещины в контактной зоне.

При минусовых температурах, в зимнее время, развитие магистральной трещины в контактной зоне интенсифицируется из-за образования льда. Влажность газобетона возле контактной зоны может достигать 46% . Несмотря на высокую морозостойкость газобетона, при влажности более 30% и минусовых температурах наступает его разрушение [9]. Отслоение штукатурного покрытия происходит за счет образования льда в контактной зоне, либо за счет постепенного разрушения материала кладки в зоне расположенной рядом с контактной зоной (рис.8б,в) [8].

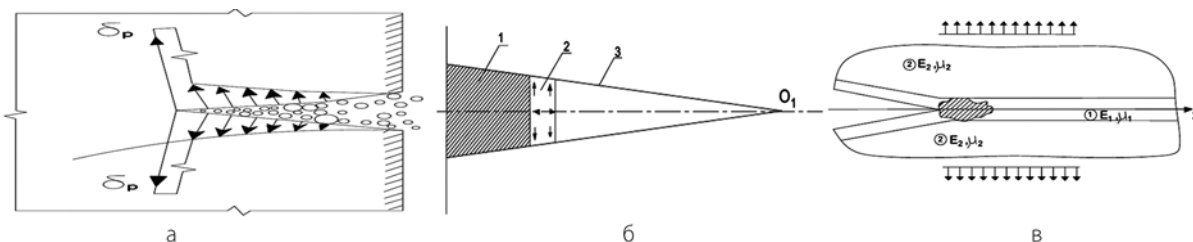


Рис. 8. Развитие магистральной трещины в контактной зоне под воздействием воды (а), и льда (б, в)



Рис. 9. Разрушение и отслоение штукатурного покрытия от газобетонной кладки

В результате, на фасаде образуется большое количество макротрещин в контактной зоне, которые постоянно развиваются. На определенном этапе они объединяются в одну магистральную трещину, образуя полость, что приводит к отслоению штукатурного покрытия от кладки (рис.9).

Предварительное грунтования или увлажнение газобетонной кладки, перед нанесением штукатурной смеси, малоэффективно, так как не предотвращает испарение влаги из штукатурки со стороны фасада, а поэтому существенно не влияет на основные свойства раствора, но оказывает влияние на формирование контактной зоны и по нашему мнению не совсем положительную.

Цели

Для того, чтобы избежать вышеописанных деструктивных процессов разработаны теоретические предпосылки. Штукатурное покрытие следует рассматривать как покрытие, связанное с кладкой через контактную зону. Ранее мы рассматривали процессы, протекающие в штукатурном покрытии, а в этой работе акцентируем внимание на формировании качественной контактной зоны. Необходимо назначать компоненты смеси и их количество, с учетом процессов протекающих в контактной зоне при твердении штукатурного покрытия и разрушении системы «кладка-покрытие». Их применение должно обеспечить уровень напряжений, в контактной зоне, меньших, чем разрушающие, необходимо также уменьшить трещинообразование и замедлить развитие образовавшихся трещин.

Ранее превалировала точка зрения, что штукатурные растворы должны иметь высокую адгезию к кладке. Однако, если прочность штукатурного раствора будет больше прочности материала кладки, то это приведет к когезионному разрушению то есть по материалу кладки.

Авторами предложены три концепции для решения проблемы: эластичного штукатурного покрытия, демфирующей прослойки между кладкой и штукатурным покрытием, а также объединенная по которой эластичными должны быть как штукатурное покрытие, так и контактная зона.

Концепция эластичного штукатурного покрытия исходит из того, что деформации кладки (температурные, усадочные и др.) компенсируются за счет эластичности

(упругой растяжимости) штукатурного покрытия, для чего материал, имеющий полное адгезионное сцепление с основанием, должен обладать достаточным относительным удлинением. Заданная величина относительного удлинения, будет перекрывать деформации кладки, предотвращать образование и развитие трещин, исключая разрушение штукатурного покрытия. При этом предпочтительно, чтобы материал работал в упругой стадии и имел величину остаточного относительного удлинения.

Концепция демпфирующего слоя предполагает, что при деформации кладки, растягивающие усилия воспринимаются за счет эластичности контактной зоны между кладкой и покрытием. В этом случае прочность на разрыв штукатурного покрытия, также должна превышать растягивающие в нем напряжения. Но основной демпфирующий эффект берет на себя уже контактная зона. Для штукатурных покрытий наружных стен, существует условие отсутствие растрескивания и отслаивания в условиях эксплуатации, которое сводится к тому, что адгезионная прочность должна быть выше внутренних осадочных напряжений в покрытии и ниже предела прочности при растяжении материала покрытия. В связи с этим для повышения его трещиностойкости необходимо формирование трещинопрерывающей эластичной контактной зоны в виде прослойки из высокодеформируемого материала. Этого можно добиться целенаправленным формированием контактной зоны «кладка-покрытие» или предварительным нанесением на кладку полимерцементной смеси с увеличенным содержанием диспергируемого полимерного порошка.

Объединенная концепция предусматривает формирование, как эластичного штукатурного покрытия, так и контактного слоя между кладкой и покрытием.

Для обеспечения реализации концепций формализованы критериальные требования к штукатурному покрытию:

1. Проверка прочности сцепления штукатурного слоя с кладкой выполняется по формуле, определяющей величины напряжения при растяжении:

$$\sigma = F_k / A_k \leq R_a \quad (9)$$

где F_k – реакция в податливой связи метода конечных элементов, кН; A_k – площадь элемента, м²; R_a – расчетный предел прочности сцепления штукатурного покрытия с газобетонным основанием, кПа.

2. Сдвигающее напряжение (τ) должно быть меньше прочности сцепления покрытия с кладкой:

$$\tau = [\Delta T_1 \alpha_1 - \Delta T_2 \alpha_2] / [1/E_1 + 1/E_2] \quad (10)$$

где: τ – напряжение сдвига от температурных деформаций, кгс/см²; $\Delta T_1, \Delta T_2$ – 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;

Используя эти концепции и критерии, мы получаем основу для управления качеством контактной зоны в системе «кладка-покрытие».

Способы реализации теоретических предпосылок

Как было отмечено ранее, одной из основных причин формирования дефектной контактной зоны, является обезвоживание смеси из-за отсоса влаги пористым основанием. И здесь нами будет использован этот механизм, но уже для формирования качественной контактной зоны. Для обеспечения оптимальных условий твердения, предотвращения трещинообразования в контактной зоне, растворная смесь должна иметь высокую водоудерживающую способность. Для этого, в смесь необходимо вводить известь, взамен части цемента, известняковую муку, эфиры целлюлозы и диспергируемые полимерные порошки.

В результате мы получаем цементно-полимерную массу, по реологическим параметрам приближающуюся к мастикам. Теперь для формирования качественной контактной зоны можно использовать высокий капиллярный потенциал материала кладки. Это обеспечит присасывание вязкой массы при помощи всасывающего давления (ΔP), которое можно вычислить из уравнения Пуазейля [10].

$$d\ell/dt = (r_p \Delta P) / 8\eta \ell \quad (11)$$

где r – радиус капилляра, м; ΔP – всасывающее давление капилляра, Па; η – динамическая вязкость жидкого реагента растворной смеси, Па·с; ℓ – глубина проникновения жидкого реагента растворной смеси, м; t – время, с.

Изменение микроструктуры пор, в процессе проникновения жидкого реагента растворной смеси, может быть рассмотрено на основе баланса энергии на границе раздела фаз:

$$\sigma_m = 2\sigma_m (\rho \cos \theta / 2) \quad (12)$$

где σ_m – поверхностное натяжение материала кладки, кДж/м²; σ_{m-p} – поверхностная энергия на границе раздела фаз жидкого реагента растворной смеси – материал кладки, кДж/м²; θ – краевой угол смачивания, °. Если соотношение $\sigma_m / \sigma_{m-p} \geq 2$ либо $\theta = 0^\circ$, жидкий реагент растворной смеси может проникать в поры и капилляры материала кладки, тогда как при $\sigma_m / \sigma_{m-p} < 1$, а $\theta > 120^\circ$, проникновения не будет происходить.

Тогда значение всасывающего давления поры (ΔP) получаем из уравнения:

$$\Delta P = 2\sigma_p \cos \theta / r \quad (13)$$

где σ_p – поверхностное натяжение жидкого реагента растворной смеси и штукатурного раствора; кДж/м².

Преобразовывая формулы (11) и (13), можем определить глубину проникновения жидкой фазы (ℓ) и ее количество (D) при помощи уравнения Эйнштейна (15).

$$d\ell/dt = r \sigma_p \cos \theta / 4\eta \ell \quad (14)$$

Объединив и преобразовав обе стороны уравнения (4) получаем:

$$\ell^2 = (r_p \cos \theta / 2) \cdot (\sigma_p / \eta) t \quad (15)$$

$$D = kT / \pi \eta r \quad (16)$$

где D – количество жидкого реагента растворной смеси, м²/с; r – радиус частиц диффундирующего вещества, м.

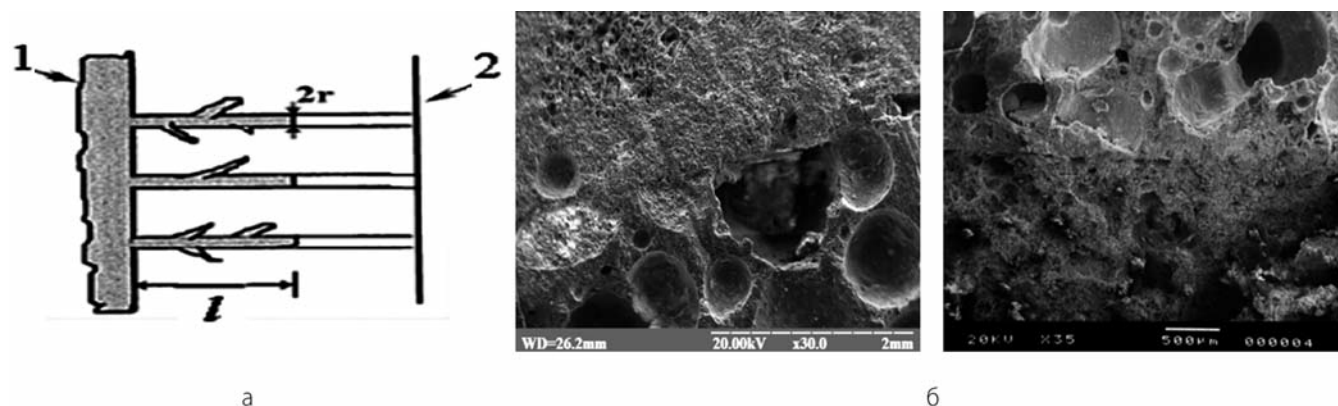


Рис. 10. Схема формирования контактной зоны «кладка-покрытие» (а) и ее фотографии (б)
1 – растворная смесь, в ячейке-поре; 2 – капилляры в стенке крупной поры ячеистого бетона

Из уравнений (11-16) следует, что скорость проникновения жидкого реагента растворной смеси, уменьшается с повышением его вязкости. По мере протекания реакции гидратации, вязкость жидкого реагента растворной смеси увеличится так, что дальнейшее ее проникновение в капилляры материала кладки становится невозможным. Однако благодаря присасывающему эффекту капиллярных пор (рис.10а), крупные поры-ячейки автоклавного газобетона оказываются полностью заполненными растворной смесью, что обеспечивает формирование контактной зоны с минимальным количеством дефектов (рис. 10б).

Во время проникновения жидкого реагента растворной смеси, в реакцию вступают жидкость и твердое вещество материала кладки, что обеспечивает анкерующий эффект (рис.10а), прочно фиксирующий штукатурное покрытие на поверхности кладки. В результате формируется эластичная, с малым количеством дефектов, контактная зона между кладкой и штукатурным покрытием (рис.10б).

Формирование эластичной контактной зоны, наряду с образованием штукатурного покрытия с повышенной эластичностью, меняет качественную картину работы системы «кладка-покрытие». Трещиностойкость такого покрытия в значительной мере, наряду с их собственной деформативностью, определяется интенсивностью взаимодействия покрытий с кладкой. При соотношении (17) обеспечивается предотвращение растрескивания и отслаивания:

$$A > \sigma_y < \sigma_r \quad (17)$$

где A – адгезия штукатурного покрытия к поверхности кладки, МПа; σ_y – внутреннее усадочное напряжение в покрытии, МПа; σ_r – предел прочности при растяжении материала покрытия и кладки, МПа.

Относительное деформирование контактной зоны увеличивается за счет изменения модулей упругости и пластичности [10]:

$$e_t = \frac{\sigma_t}{E_y} + \frac{\sigma_\epsilon}{E_s(1 - e^{-t/\theta})} + \frac{(\sigma_t - \sigma_0)^\beta}{\eta_0} \cdot t e^{-t/\theta} \quad (18)$$

где e_t – относительная деформация от напряжения σ_t ; E_y – модуль упругости материала МПа; E_s – модуль пластичности, МПа; θ – время релаксации напряжений, с; σ_0 – предел длительной прочности, МПа; β – мера аномальности вязкости для аномально вязких материалов, какими являются мастики и штукатурки на полимерцементных вяжущих; η_0 – наибольшая структурная вязкость неразрушенной структуры материала, Па·с.

Из зависимостей следует, что температурные напряжения в штукатурном покрытии (19) и контактной зоне (20, 21), из-за релаксации напряжений и меньшего значения модуля эластичности снижаются, при условии, что время (t) изменения температуры (T), больше времени релаксации θ .

$$\sigma_t = (L_0 - L_n) \cdot (T_{\max} - T_{\min}) \cdot E_y \quad (19)$$

Для контактной зоны с повышенной эластичностью:

$$\sigma_t = \frac{(L_n - L_0) (T_{\max} - T_{\min}) E_y E_s (1 - e^{-t/\theta})}{E_y + E_s (1 - e^{-t/\theta})} \quad (20)$$

$$\tau = [\Delta T_1 \alpha_1 - \Delta T_2 \alpha_2] / [1/E_1 + 1/E_2] \quad (21)$$

Приведенные выкладки свидетельствуют о том, что реализация предложенных концепций и критериев позволяет уменьшить трещинообразование в системе «кладка-покрытие» на стадии нанесения и твердения растворной смеси и их развитию на стадии эксплуатации. А это позволяет увеличить долговечность стеновой конструкции, уменьшить эксплуатационные затраты.

Выводи

Увеличение теплопотерь, снижение долговечности стеновой конструкции происходит из-за разрушения и отслоения штукатурного покрытия от кладки. В работе рассмотрен механизм трещинообразования в контактной зоне системы «кладка-покрытие», предложены концепции и критерии позволяющие проектировать свойства штукатурных растворов обеспечивающих оптимальную работу системы «кладка-покрытие».

Концепция эластичного штукатурного покрытия исходит из того, что деформации кладки (температурные, усадочные и др.) компенсируются за счет эластичности (упругой растяжимости) штукатурного покрытия, для чего материал, имеющий полное адгезионное сцепление с основанием, должен обладать достаточным относительным удлинением.

Концепция демпфирующего слоя предполагает, что при деформации кладки, растягивающие усилия воспринимаются за счет эластичности контактной зоны между кладкой и покрытием.

Объединенная концепция предусматривает формирование, как эластичного штукатурного покрытия, так и контактного слоя между кладкой и покрытием.

Реализация предложенных концепций и критериев позволяет уменьшить трещинообразования в системе «кладка-покрытие» на стадии нанесения и твердения растворной смеси и их развитию на стадии эксплуатации. А это приведет к увеличению долговечности стеновой конструкции, уменьшит эксплуатационные затраты.

Литература:

1. Галкин С.Л. Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика / [Галкин С.Л., Сажнев Н.П., Соколовский Л.В., и др.] – Минск: НП ООО «Стринко», 2006. –458с.
2. Кнатько М.В., Ефименко М.Н., Горшков А.С. К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий // Инженерно-строительный журнал. –2008.–№ 2. –С. 50-53
3. Волдржих Ф. Деформационные швы в конструкциях наземных зданий / Волдржих Ф. –М.: Стройиздат, 1978. –224с. :ил.–Библиогр.: с.209-221
4. Емельянов А.А. Повреждения наружных панелей жилых полносборных зданий при температурных деформациях по данным натурных исследований / Емельянов А.А. // Анализ причин аварий и повреждений строительных конструкций – М.: Издательство литературы по строительству, 1964. Выпуск 2.– С.153-177
5. В.Блази Справочник проектировщика. Строительная физика / В.Блази – М.: Техносфера, 2005. – 536 с.
6. Р.Ф.Рунова, Л.О.Шейнич, О.Г.Гелевера, В.І.Гоц Основи виробництва стінових та оздоблювальних матеріалів. –К.; КНУБА, 2001.–354с.