

УДК 691.002

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА
С УЧЕТОМ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ В СИСТЕМЕ
«ГАЗОБЕТОННАЯ КЛАДКА-ШТУКАТУРНОЕ ПОКРЫТИЕ»**

Парута В.А., к.т.н., доц.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса, Украина*

Разработка составов штукатурных растворов для автоклавного газобетона и технологии их применения, является актуальной задачей, которую решают многие специалисты [1,2,3,4]. Недостатком разработанных составов является то, что им всем, в той или иной мере, присуще трещинообразование [5,3], которое приводит к разрушению штукатурного покрытия и ограждающей конструкции.

По нашему мнению происходит это из-за того, что при проектировании свойств и состава штукатурного раствора, не в полной мере учитывают совместность работы штукатурного покрытия с газобетонной кладкой. Стеновую конструкцию следует рассматривать как многослойную систему, для которой необходимо подбирать состав штукатурной смеси, с определенными качественными и количественными параметрами, в зависимости от характеристик материала кладки, деформаций и напряжений, возникающих в кладке и штукатурном покрытии,

Нормативные документы определяют необходимые параметры для штукатурных растворов, это средняя плотность, прочность при сжатии, водопоглощение, морозостойкость, паропроницаемость, адгезия к стеновому материалу. Но этого недостаточно, для того чтобы обеспечить совместность работы газобетонной кладки и штукатурного покрытия, а следовательно, и высокую долговечность ограждающей конструкции. В этих требованиях не в полной мере учитывается «работа» штукатурного покрытия в составе ограждающей конструкции.

Для определения, какими параметрами должно обладать штукатурное покрытие, необходимо знать процессы протекающие в системе «кладка-покрытие» при нанесении штукатурного раствора на кладку, его твердении и эксплуатации, понимать механику разрушения системы. Рассмотрение деформаций, внутрискруктурных напряжений, в штукатурном покрытии и контактной зоне его с кладкой, процессов

зарождения, накопления и развития трещин при циклических (нагревании и охлаждении, замораживании и оттаивании, увлажнении и высушивании) и силовых нагрузках, является предварительным условием в построении механики разрушения такой системы. Это позволит предсказать поведение системы во времени, разработать рекомендации по предотвращению деструктивных процессов, повышению долговечности штукатурного покрытия и ограждающей конструкции. Использование картины разрушения, расчет параметров напряженно-деформированного состояния и других энергетических и силовых параметров механики разрушения, позволит проектировать составы штукатурного раствора с необходимыми параметрами.

Разрушение штукатурного покрытия начинается с этапа образования дефектов в структуре материала (микро- и макротрещин) в период его твердения. При нанесении растворной смеси на кладку, происходит гидратация цемента, которая приводит к химическому связыванию воды, отсос влаги пористым основанием и испарение ее под воздействием солнечных лучей и воздушных потоков. Это приводит к гидравлической (0,3...0,8 мм/м) и пластической (2...5 мм/м) усадке штукатурного раствора [6,7, 8, 9, 1], возникновению в нем напряжений (δ) и образованию усадочных трещин на поверхности и в объеме затвердевшего раствора (рис. 1b,c), а также в контактной зоне с газобетонным основанием (рис. 1a).

$$\delta = \frac{\Delta \varepsilon * E}{1 - \mu}$$

где: E и μ - модуль упругости и коэффициента Пуассона штукатурного покрытия; $\Delta \varepsilon$ - разность деформаций штукатурки и газобетонного основания; [5].

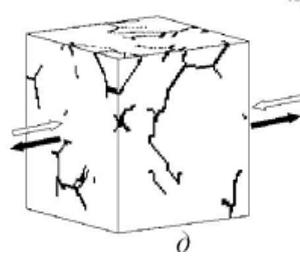
Из-за недостатка влаги не происходит полная гидратация цемента, что приводит к снижению предельной растяжимости раствора, на 20...50% и трещинообразованию [5,10,3]. В результате формируется дефектная структура материала, включающая поры, трещины или совмещенные дефекты - поры с трещинами, которые проходят в цементном камне преимущественно через негидратированные зерна цемента или через поры [11].

При эксплуатации штукатурное покрытие испытывает температурно-влажностные воздействия (рис. 2), которые вызывают его деформации (ΔL_p , ΔL_c , $\Delta L_{тв}$) и дополнительные напряжения в материале (δ).

$$\delta = \kappa \sqrt{[a + b(L - c)]} \delta^*$$

$$\delta^* = E \alpha \Delta t$$

где: E -модуль упругости; αt -коэффициент линейного расширения штукатурного покрытия; Δt - расчетный перепад температур;



a)

b)

c)

Рисунок 1 Трещинообразование: а) в контактной зоне «газобетонное основание –штукатурное покрытие»; б) в объеме штукатурного раствора с) и на его поверхности

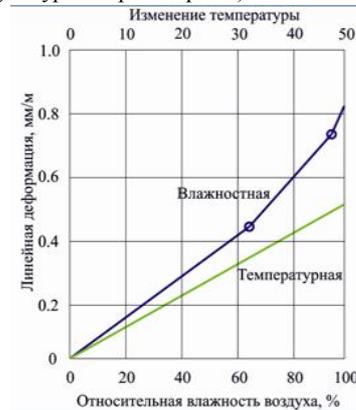
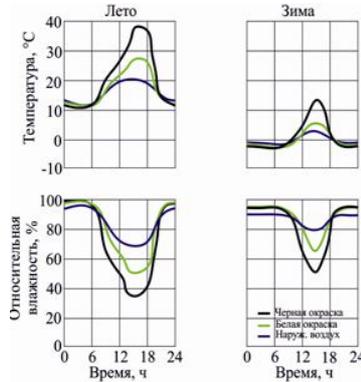


Рисунок 2. Графики изменения температур и влажности штукатурного покрытия [2].

$$\Delta L_p = \alpha \Delta T^p L; \Delta L_c = \alpha \Delta T^c L;$$

$$\Delta L_{mv} = (\alpha \Delta T L F_m) + (\Delta L_q L) \text{ где:}$$

$\Delta L_p, \Delta L_c$ – деформации растяжения и сжатия; α – коэффициент температурного удлинения материала; ΔT – разность температур; L – длина стенового элемента; $\Delta L_{ТВ}$ – тепло-влажностные деформации; F_m – показатель материальных дефектов; ΔL_q – влажностные деформации [3].

В результате, трещины, образовавшиеся на стадии нанесения и твердения, получают свое развитие. Рост трещин, в штукатурном растворе, проходит через контактную зону с заполнителем, через заполнитель или через цементный камень в зависимости от их прочности и наличия дефектов (рис.3).

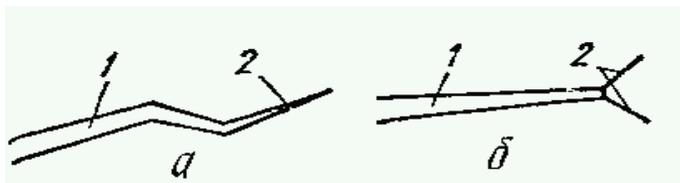


Рис.3 . Развития трещин в штукатурном растворе в результате тепло-влажностных деформаций

Штукатурное покрытие «не работает» обособленно в стеновой конструкции, на его напряженное состояние оказывает влияние деформации кладки.

Деформация кладки происходит под воздействием постоянных и временных нагрузок, усадки кладочного раствора, карбонизации газобетона, увлажнения парообразной влагой мигрирующей из помещения и конденсирующейся внутри конструкции, температуры, от ветровых нагрузок, деформации железобетонного каркаса [12,13].

Из-за разности коэффициентов температурного расширения, модулей упругости газобетонного основания и штукатурного покрытия, в контактной зоне между ними, возникают напряжения сдвига (τ) (рис.5), которые предопределяют развитие магистральной трещины в контактной зоне (рис.6-8):

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

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;

Для системы «кладка - штукатурное покрытие» характерно усталостное разрушение, при относительно низком уровне напряжений и частой их циклическостью, которое приводит к прорастанию магистральной трещины в контактной зоне между штукатуркой и кладкой и семейства магистральных трещин в штукатурном покрытии со скоростью (dl/dN):

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

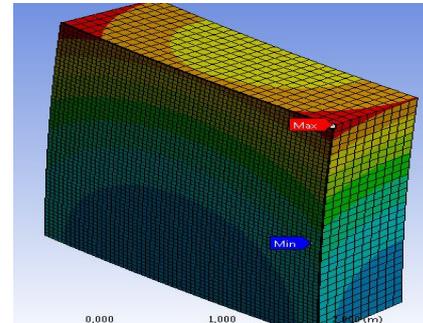
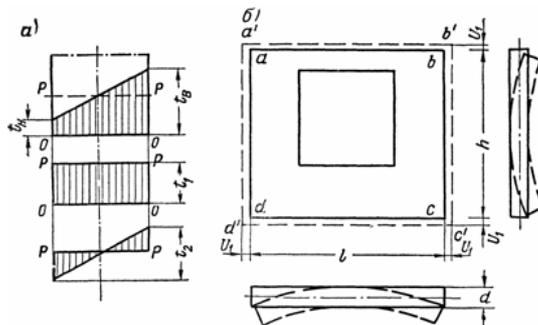
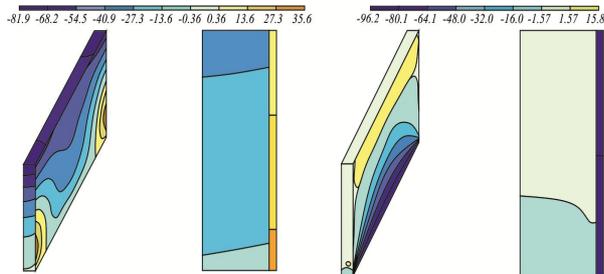


Рис. 4. Температурные деформации стеновой конструкции и изополя напряжений: а – распределение температур в ограждающей конструкции [14]; б – температурные деформации



а)

б)

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

где: 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, N — число циклов.

Особенностью процесса является то, что магистральная трещина в контактной зоне развивается на границе двух разнородных материалов с отличительными свойствами - газобетонной кладке и штукатурке (рис. 6).

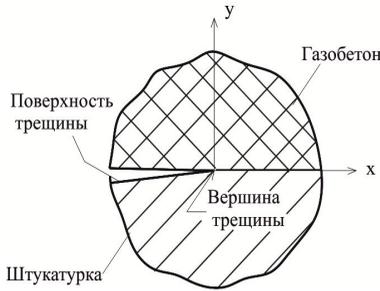


Рис. 6 Трещина в контактной зоне

Старт и рост магистральной трещины в контактной зоне определяется состоянием и процессами - у ее вершины и реализуется по механизму, который включает развитие микротрещин в зоне предразрушения и их объединение в макротрещину. Основной причиной ее развития является изменение деформаций и напряжения в вершине трещины, возникающие при увлажнении и высушивании, нагревании и охлаждении стеновой конструкции (Рис.7).

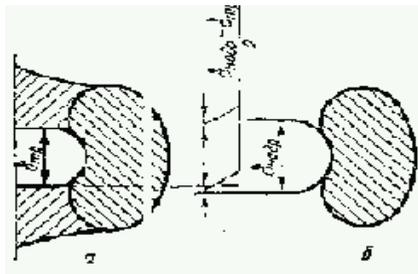


Рис. 7 Вершина магистральной трещины

При нагревании или увлажнении, или при их совместном воздействии, происходит рост деформаций, что приводит к увеличению радиуса кривизны вершины трещины. Пока уровень напряжений меньше предельного значения адгезионной или когезионной прочности, трещина не растет. Если в ходе дальнейшего роста внешней нагрузки, деформации и напряжения в устье трещины превзойдут предельный уровень, произойдет ее подрастание (рис.8). На

обратном ходе цикла нагружения (снижении температуры или влажности), происходит частичное восстановление геометрии вершины трещины и размера упруго-пластической зоны, однако в дальнейшем трещина увеличивает свою длину. Рост макротрещины в контактной зоне «кладка-штукатурное покрытие», происходит за счет непрерывного зарождения у ее вершины микротрещин, которые, развиваясь, объединяются с макротрещиной. После объединения микротрещины с макротрещиной идет развитие макротрещины (рис.8). Отслоения штукатурки от газобетонной кладки происходит в результате прорастания одной или семейства разветвленных магистральных трещин в контактной зоне и разрушению преимущественно по адгезионному типу (рис.8).

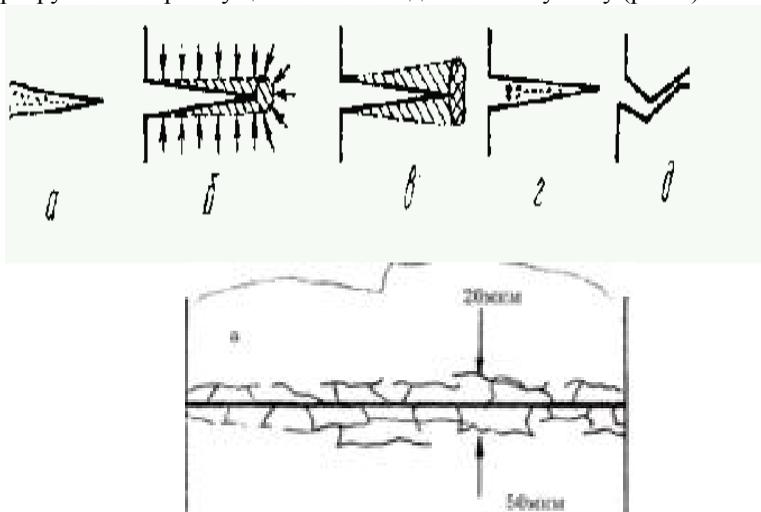


Рис. 8. Развитие магистральной трещины в контактной зоне «газобетонное основание - штукатурное покрытие»

Процесс разрушения интенсифицируется из-за наличия влаги приводящей к снижению прочности при растяжении, агрессивных жидкостей и газов, отрицательных температур.

Для того, чтобы предотвратить трещинообразование в системе «кладка-штукатурное покрытие», проектирование штукатурных растворов необходимо вести с учетом процессов протекающих при нанесении и твердении раствора и напряжений возникающих в штукатурном покрытии из-за деформаций стеновой конструкции и самого покрытия. Необходимо минимизировать количество усадочных трещин, которые возникают в покрытии при нанесении и твердении штукатурного раствора. Прочность при растяжении

раствора и контактной зоны должна превышать растягивающие напряжения возникающие в системе. Только в этом случае возможно обеспечение высокой трещиностойкости раствора и контактной зоны его с кладкой, долговечности штукатурного покрытия и стеновой конструкции в целом.

Выводы

1. Требования к штукатурным растворам, оговоренные в нормативных документах, не достаточны для проектирования трещиностойких штукатурных растворов.

2. Для проектирования необходимых параметров штукатурных растворов, необходимо знание механики разрушения в системе «кладка-штукатурное покрытие», уметь рассчитывать напряжения возникающие в системе.

3. При подборе состава штукатурного раствора необходимо учитывать то, что зарождение дефектов в штукатурном покрытии и в контактной зоне с кладкой, происходит в результате усадки раствора при твердении. Развитие этих дефектов до размера магистральных трещин и разрушение штукатурного покрытия происходит из-за деформации кладки и штукатурного покрытия и напряжений, возникающих в системе.

4. Проектирование составов штукатурных растворов для газобетонной кладки необходимо вести с учетом механики разрушения в системе «газобетонная кладка - штукатурное покрытие». Прочность при растяжении штукатурного раствора и контактной зоны должны превышать напряжения возникающие в системе при твердении и эксплуатации.

Summary

Development of compositions of clout solutions for an autoclave aerocrete is an actual task. The lack of existent clout solutions is that by him, in one or another measure, inherently cracking. The cracking of clout coverage is reason of decline of his longevity and wall construction. For planning of clout solutions with high crack resistance it is necessary to appoint their properties taking into account mechanics of destruction in the system «laying-clout coverage».

Литература

1. Конструкції будинків і споруд Стіни із блоків з автоклавного газобетону. Загальні технічні умови ДСТУ Б В.2.6 - XXX:201X (Проект, остаточна редакція)
2. Особенности технологии возведения и эксплуатации наружных стен из автоклавного газобетона / Паруга 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
3. Грануа Э. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях. Москва. Стройиздат. 1980.- с.217
4. Сажнева Н.Н., Сажнев Н.П., Урецкая Е.А. Защитные системы для отделки ячеистого бетона пониженной плотности // Строительные материалы. 2009. №1. С. 17-19.
5. 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
6. 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.Вагина, - СПб.: Изд-во. Политехнического ун-та, 2010, с.10-15
7. Горшков А.С., Кназько М.В., Рымкевич П.П., Оценка долговечности стеновой конструкции .Семинар "Однослойные ограждения из автоклавного газобетона в современном домостроении", 24 ноября 2009г. Екатеринбург.
8. А.С. Горшков,А. Войлоков, Пути повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий» 2009 Санкт-Петербург с.47-51
- 9.Руководство по технологии изготовления ячеистого бетона плотностью 250–300 кг/м³. – М., 1977.
10. Cotterell Brian, Mai Yiu-Wing. Crack Growth Resistance Curve and Size Effect in the Fracture of Cement Paste. Кривая сопротивления росту трещин и масштабный эффект при разрушении цементного камня. //J. Mater. Sci., -1987. -№8. -pp.2734-2738.
11. Struble L.J., Stutzman P.E., Fuller E.R. Microstructural Aspects of The Fracture of Hardened Cement Paste: [Pap.] 1st Symp. Rel. Multilayer Ceram. Capacitors, University Park, Pa, May 11-12, 1989. Структурные аспекты разрушения цементного камня. //J. Amer. Ceram. Soc. -1989. -№12. - pp.2295-2299.
12. Комохов П.Г., Попов В.П. Энергетические и кинетические аспекты механики разрушения бетона. – Самара: см. филиал секции «Строительство» РИА, 1999. – 111с.

13. Лыков А.В. Теория сушки. – М. Энергия, 1968. – 472с.
14. Емельянов А.А. Повреждения наружных панелей жилых полносборных зданий при температурных деформациях по данным натурных исследований. // Анализ причин аварий и повреждений строительных конструкций/. Выпуск 2, Под ред. А.А.Шишкина. Издательство литературы по строительству, -М.: 1964. – С.153-177