

УДК 693.611

*Парута В.А., канд. техн. наук, доцент,
Русев А.Г., Цонда Д.А., студенти
Одесская государственная академия строительства и
архитектуры, г. Одесса, Украина
Брынзин Е.В., канд. техн. наук., начальник отдела
маркетинга ООО UDK GAZBETON,
г.Днепропетровск, Украина*

ПОДБОР РЕЦЕПТУРЫ ШТУКАТУРНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ГАЗОБЕТОНА С УЧЕТОМ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ В СИСТЕМЕ «КЛАДКА - ШТУКАТУРНОЕ ПОКРЫТИЕ»

Широкое использование автоклавного газобетона, для возведения наружных стен, требует разработки технологий и материалов для его отделки. Оштукатуривание таких стен, с последующей отделкой декоративными штукатурками или фасадными красками, является одним, из оптимальных технико-экономическим решений[8]. Однако, достаточно часто, приходится наблюдать трещинообразование в штукатурном покрытии и в контактной зоне его, с газобетонной кладкой. Это приводит к разрушению штукатурки, ухудшению теплоизоляционных параметров ограждающей конструкции и уменьшению ее долговечности.

Происходит это из-за того, что подборе рецептуры штукатурки не в полной мере учитывается совместность ее работы с газобетонным основанием. Не учитывают этот фактор и нормативные документы. Например в СТО 501-52-01-2007 [5] указаны технические требования: сопротивление паропроницанию, водонепроницаемость через 24 часа, адгезия к ячеистому бетону, морозостойкость, устойчивость к разрыву по трещине в ячеистом бетоне, стойкость к переменному увлажнению и высушиванию. Европейский стандарт EN 998-1:2003 [6], дополнительно к вышеперечисленным свойствам, требует декларирования: средней плотности раствора, класса по прочности на сжатие, теплопроводности и огнестойкости.

Этого, по нашему мнению, недостаточно, для того чтобы обеспечить совместность работы газобетонной кладки и штукатурного покрытия, а следовательно и высокую долговечность ограждающей конструкции. Необходимо, учитывать не только соотношение их паропроницаемости, но и прочности при сжатии и растяжении, модуля упругости, деформаций (температурных, влажностных, карбонизационных). Нельзя назначать один и тот же состав раствора для газобетонных блоков со средней плотностью 300 и 700 кг/м³.

Влияние разности модулей упругости основания и штукатурного покрытия, на прочность сцепления между ними, указывали в своих работах Я.Паплавскис, А.Фрош, Э.Гранау [4,7], однако только синхронизации этого показателя тоже недостаточно. Стеновую конструкцию следует рассматривать как систему «основание-покрытие», в которой, в зависимости от свойств материала кладки, необходимо целенаправленно подбирать рецептуру штукатурной смеси.

Для понимания того какие свойства необходимо регулировать и какая должна быть их величина, нужно знать процессы протекающие при нанесении раствора и его твердении. Нужно иметь представление о характере и механизме трещинообразования в системе, создать математический аппарат для определения характера и величин напряжений возникающих в ней. И уже с учетом этого, подбирать составы штукатурных покрытий с заданными свойствами, которые позволят сформировать качественную структуру покрытия, контактную зону с кладкой, обеспечив высокую долговечность стеновой конструкции.

После нанесения штукатурной смеси на кладку, из-за высокого капиллярного потенциала газобетона, происходит отсос влаги из твердеющего раствора, испарение ее под воздействием солнечных лучей и воздушных потоков. Это приводит к усадке раствора и образованию, в нем и в контактной зоне с газобетонным основанием, трещин (Рис.1).

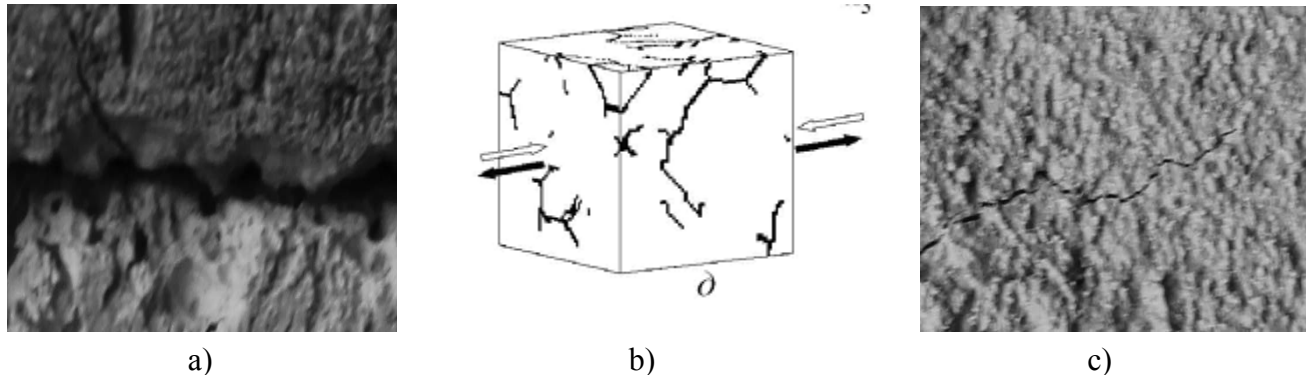


Рисунок 1. Трещинообразование: а) в контактной зоне «газобетонное основание - штукатурное покрытие»; б) в объеме и с) на поверхности штукатурного раствора

Причиной развития трещин в штукатурном покрытии являются напряжения (δ) возникающие из-за его усадки и разницы деформаций кладки и штукатурного покрытия ($\Delta\varepsilon$):

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

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

При эксплуатации, происходит деформация стеновой конструкции. Кладки: под воздействием постоянных и временных нагрузок, усадки кладочного раствора, карбонизации газобетона, увлажнения парообразной влагой мигрирующей из помещения и конденсирующейся внутри конструкции, температуры. Деформации штукатурного покрытия происходят из-за увлажнения атмосферной влагой, воздействия плюсовых и минусовых температур, деформации кладки (Рис. 2,3).

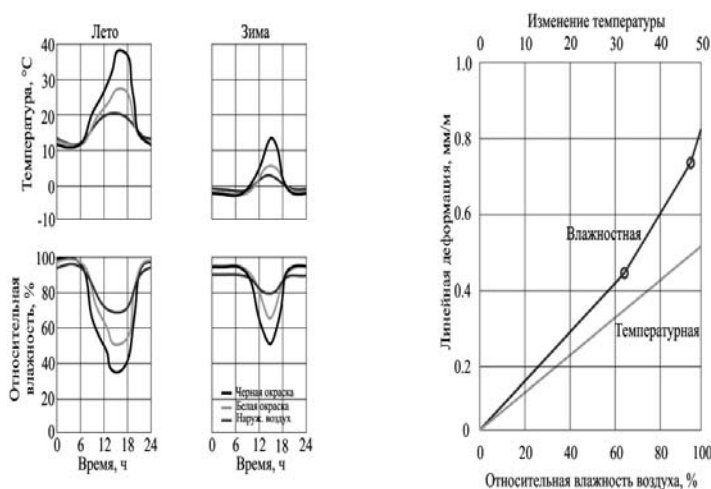


Рисунок 2. Графики изменения температур и влажности стеновой конструкции

$$\Delta L_p = \alpha \Delta T^p L; \Delta L_c = \alpha \Delta T^c L; \quad (2)$$

$$\Delta L_{ms} = (\alpha \Delta T L F_m) + (\Delta L_q L) \quad (3)$$

где: ΔL_p , ΔL_c - деформации растяжения и сжатия; α - коэффициент температурного удлинения материала; ΔT - разность температур; L - длина стенового элемента; ΔL_{tw} - тепло-влажностные деформации; F_m - показатель материальных дефектов; ΔL_q - влажностные деформации.

Из-за температурно-влажностных деформаций в штукатурном покрытии возникают растягивающие напряжения (δ) которые являются причиной развития трещин в нем и являются

составляющими напряжений вызывающие разрушению контактной зоны «кладка-штукатурное покрытие».

$$\delta = \kappa[\alpha + b(\sqrt{L-c})]\delta^* \quad (4)$$

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

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

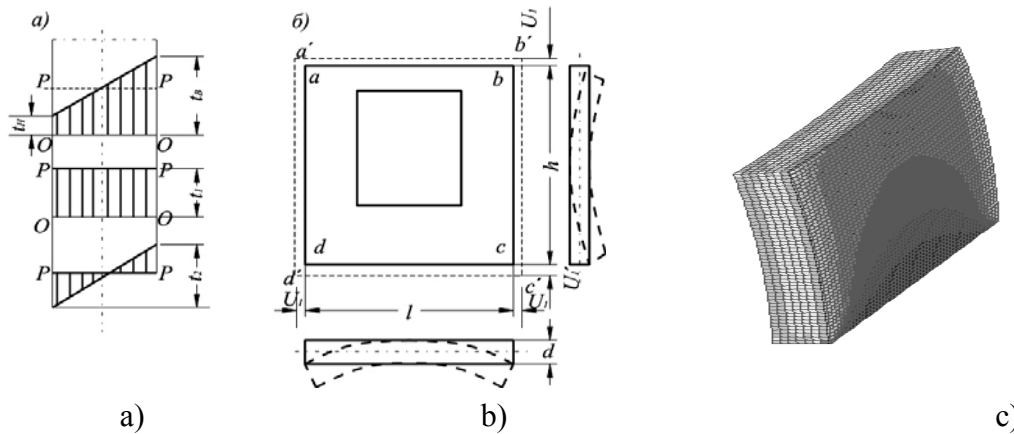


Рисунок 3. Температурные деформации (a,b) и напряжения в стеновой конструкции (c)

Из-за разности коэффициентов температурного расширения, модуля упругости газобетона и штукатурного покрытия в контактной зоне между ними, возникают напряжения сдвига (рис.4):

$$\tau = [\Delta T_1 \alpha_1 - \Delta T_2 \alpha_2] / \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right] \quad (5)$$

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

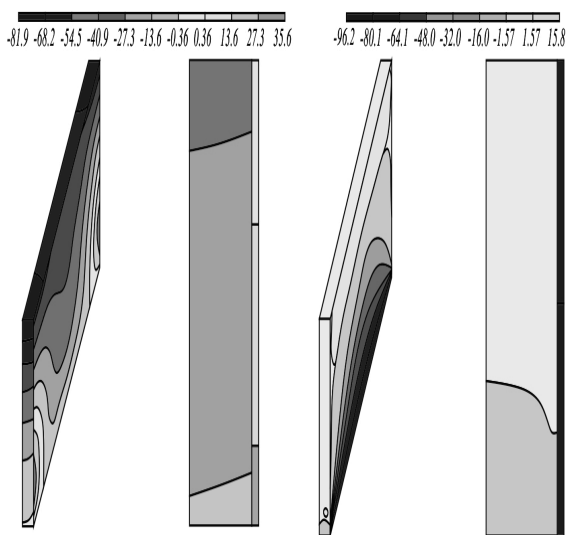


Рисунок 4. Температурные деформации и напряжения: в ограждающей конструкции (a,c) и контактной зоне «кладка-штукатурное покрытие» (b,d)

Эти напряжения и являются основной причиной развития магистральной трещины в контактной зоне между штукатуркой и кладкой со скоростью (dl/dN) (Рис.5):

$$dl/dN = A(\Delta K)^n \quad (6)$$

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

$$dl/dN = C_0 \left(K_{\max} - \frac{K_{th}}{K_c} - K_{\max}^q \right) \quad (7)$$

где: C_0 , q — эмпирические величины, K_{th} - пороговый коэффициент интенсивности напряжений, K_c - вязкость разрушения.

Для такой системы характерно усталостное разрушение, при относительно низком уровне напряжений и частой их цикличности. Трещина развивается на границе двух разнородных материалов с отличительными свойствами - газобетонной кладке и штукатурке (рис.5).

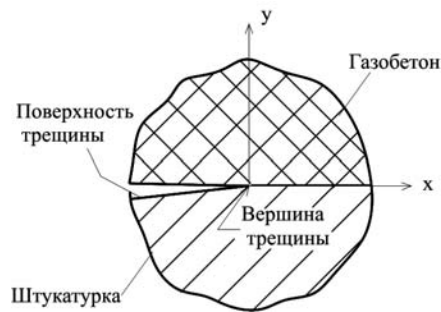


Рисунок 5 Характер трещинообразования в контактной зоне «газобетонная кладка - штукатурное покрытие»

Основной причиной ее развития является изменение деформаций и напряжений в вершине трещины возникающих при увлажнении-высушивании, нагревании-охлаждении стеновой конструкции. При нагревании или увлажнении, или при их совместном воздействии, происходит увеличение деформаций в контактной зоне «газобетонная кладка-штукатурное покрытие». Это приводит к увеличению радиуса кривизны вершины трещины. Пока уровень напряжений меньше значения адгезионной и когезионной прочности, трещина не растет. Когда напряжения в устье трещины превзойдут предельный уровень, произойдет ее подрастание. 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.

Это приводит к разрушению в контактной зоне, отслоению штукатурного покрытия от кладки по преимущественно адгезионному типу. Процесс интенсифицируется из-за наличия влаги, агрессивных жидкостей и газов, отрицательных температур. Так например в здании, построенном в г.Рига, уже через 24 года эксплуатации, в штукатурке наблюдалось большое количество трещин шириной 0,2-2мм, на 30% площади фасада штукатурка потеряла сцепление с газобетонной кладкой. Имелись значительные отпадения штукатурки по всему фасаду здания [2].

Следовательно, для повышения долговечности ограждающей конструкции необходимо предотвратить протекание вышеуказанных деструктивных процессов, обеспечить совместность работы газобетонной кладки и штукатурного покрытия. Для этого, еще на стадии подбора рецептуры, необходимо задавать такие его свойства, которые обеспечат совместность его работы с газобетонным основанием. Снизить температурно-влажностные деформации и напряжения, вызванные ними, в покрытии и контактной зоне можно путем подбора состава штукатурного покрытия со свойствами как можно более близкими к свойствам газобетонной кладки. Этого можно добиться, целенаправленно модифицируя растворную смесь, создав условия для формирования бездефектной контактной зоны и штукатурного покрытия.

Для формирования бездефектной контактной зоны следует использовать высокий капиллярный потенциал газобетонного основания. При нанесении растворной смеси, поры газобетона будут «присасывать» ее к себе, обеспечивая максимальную площадь контакта между ними. Для этого необходимо, чтобы растворная смесь имела высокую водоудерживающую способность. Поэтому в ее состав мы вводили наполнитель и наполнитель (карбонатный и перлит), водоудерживающий эффект от которых, усиливали при помощи эфиров целлюлозы и релаксанта полимерного порошка (РПП).

При нанесении растворной смеси, водная дисперсия полимера, проникнет в стенки пор, а новообразования цемента конденсируются на силикатах кальция газобетона. Это обеспечит

формирование контактной зоны с малым количеством дефектов, достаточной адгезионной прочностью, трещиностойкостью и эластичностью, позволяющей релаксировать возникающие напряжения в системе «кладка-штукатурное покрытие».

Однако, только формирования бездефектной контактной зоны, недостаточно. Если у штукатурного раствора прочность и модуль упругости будет больше, чем у газобетонного основания, то при высокой прочности контактной зоны, разрушение будет происходить по газобетону (когезионное разрушение). Необходимо чтобы штукатурный раствор и кладка имели сходные прочность и модуль упругости, температурные и влажностные деформации. В этом случае формирование достаточно прочной, эластичной контактной зоны, обеспечит совместную работу слоев системы «кладка-штукатурное покрытие».

Уменьшение модуля упругости штукатурки приведет (в соответствии с формулами 1,4,5), к уменьшению растягивающих напряжений в штукатурке, напряжений сдвига и скорости продвижения магистральной трещины в контактной зоне. Этого можно добиться введением в смесь мелкого заполнителя и наполнителя с низким модулем упругости (карбонатный, перлитовый), РПП и полимерной фибры. Снижение модуля упругости штукатурного раствора, уменьшение его температурных и влажностных деформаций обеспечит повышение трещиностойкость и долговечность системы «кладка-покрытие».

Исходя из вышеизложенных теоретических предпосылок, нами были подобраны рецептуры штукатурных смесей на смеси заполнителей и наполнителей – карбонатном и перлитовом. Модифицирующий эффект усиливали введением РПП Winnapas 8031 Н и Tylose MBZ 15009. Для оптимизации рецептурно-технологических параметров использовали пятифакторный план со следующими варьируемыми факторами, приведенными в таблице 1

Таблица 1

Уровень варьирования пятифакторного плана

Расход материалов на 1 м ³ раствора					
Уровень варьирования	вяжущего, кг/м ³	заполнителя и наполнителя, м ³ /м ³	фибры, кг/м ³	РПП, Winnapas 8031 Н, %	Tylose MBZ 15009, %
	X1	X2	X3	X4	X5
1	500	1,05/1	1,2	5	0,5
0	400	1,05/1	0,9	3	0,3
-1	300	1,05/1	0,6	1	0,1

В результате получена штукатурка позволяющая обеспечить совместность работы газобетонной кладки со штукатурным покрытием и тем самым высокую долговечность стеновой конструкции. Основные физико-механические характеристики штукатурки: средняя плотность 600 -1300 кг/м³, прочность при сжатии 15 - 60 кг/см² (рис.6).

Применение такой штукатурки позволило уменьшить напряжения в системе «кладка-покрытие» (табл.2), повысив трещиностойкость раствора (рис.7). Так если у известково-цементно-песчаного раствора трещинообразование произошло при его деформации 0,16-0,18 мм. У перлитовой штукатурки на цементно-известковом вяжущем, при деформации 0,2-0,22 мм, то у модифицированной, трещинообразование произошло при деформации 0,52-0,62 мм.

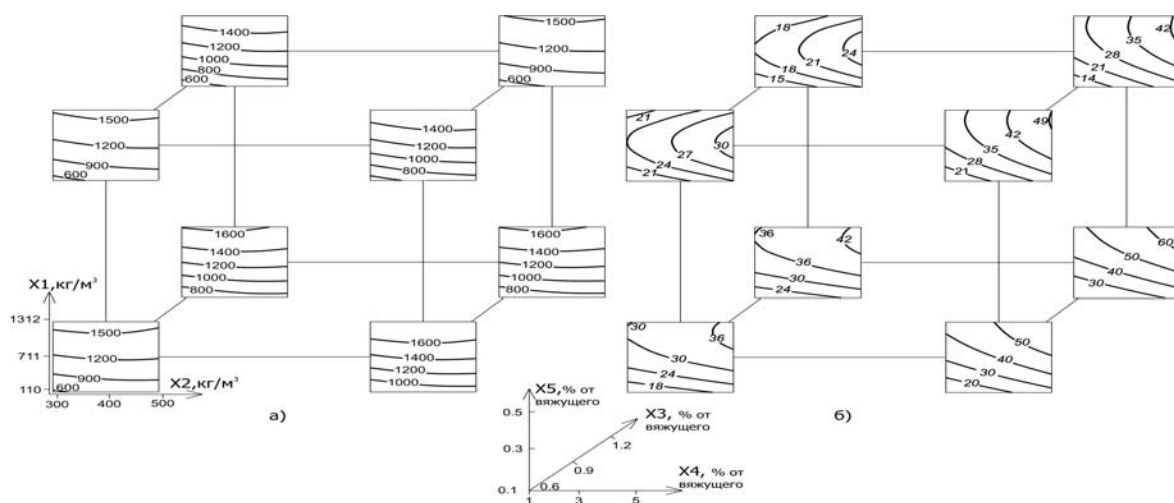


Рис. 8 Прочность на сжатие при изгибе кгс/см², Рис. 9 Прочность на сжатие кгс/см²
 X1-Вязущее X2-Заполнитель X3-Фибра полимерная X4-Winnapas 8031H X5-Tylose MBZ 15009

Рисунок 6. Средняя плотность (а) и прочность при сжатии (б) штукатурного раствора

Таблица 2

Напряжение в системе «кладка-штукатурное покрытие»

№ П/П	Средняя плотность, (кг/м ³),		Напряжения min (т/м ²)	Напряжения max (т/м ²)
	газобет.	штукат.		
1	400	1200	-1,72	0,369
2	400	1800	-5,46	0,537
3	500	1200	-3,43	0,477
4	500	1800	-4,48	0,695
5	600	1200	-1,74	0,583
6	600	1800	-8,33	0,865



Рисунок 7. Средняя плотность (а) и прочность при сжатии (б) штукатурного раствора

Приведенные данные свидетельствуют о том, что подбор рецептуры штукатурной смеси с учетом механики разрушения обеспечивает совместность работы «газобетонная кладка - штукатурное покрытие». Что, обеспечит повышение долговечности стеновой конструкции, оптимальные условия ее эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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
2. Силаенков Е.С., Зарин Р.А., Рудин П.В. Опыт эксплуатации газобетонных конструкций // Анализ причин аварий и повреждений строительных конструкций/, Выпуск 2, Под ред. А.А.Шишкина. Издательство литературы по строительству, - М.: 1964. -С.137-153
3. В. Г. Гагарин Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем. // «АВОК» №6, 2007.-С.34-36
4. 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
5. СТО 501-52-01-2007 ч.1 «Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации», Москва 2009г. 68с.
6. EN 998-1:2003 “Specification for mortar for masonry. Part 1: Rendering and plastering mortar”.32с.
7. Грану Э. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях. Москва. Стройиздат. 1980.- с.234
8. Технические решения стен многоэтажных зданий из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения. Альбом-пособие для проектирования и производства работ, НИИСП, Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины», Франивский А.А, Парута В.А. и др., Украины. Киев, 2011, 189с.