

УДК 693.611

*Парута В.А., кандидат технических наук, доцент,
Саевский А.А., Гавриленко Л.В., Диалло М.К.,
Антипова М.А.,
Одесская государственная академия строительства и
архитектуры,
Брынзин Е.В., кандидат технических наук,
ООО UDK GAZBETON, г.Днепропетровск*

МЕХАНИЗМ ДЕСТРУКЦИИ В СИСТЕМЕ «ГАЗОБЕТОННАЯ КЛАДКА-ШТУКАТУРНОЕ ПОКРЫТИЕ» И ПУТИ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

Оштукатуривание стен из автоклавного газобетона, с последующей отделкой красками или декоративной штукатуркой, один из самых распространенных технологических приемов отделки. Однако, часто приходится наблюдать значительное трещинообразование в штукатурном покрытии и в контактной зоне с газобетонной кладкой. Это приводит к снижению долговечности ограждающей конструкции.

Происходит это из-за того, что при проектировании состава и свойств штукатурки не в полной мере учитывается совместность ее работы с газобетонным основанием. Не учитывают этот фактор и нормативные документы. Так в СТО 501-52-01-2007 и в проекте ДСТУ «Конструкції будинків і споруд. Стіни із блоків з автоклавного газобетону. Загальні технічні умови» [4, 5] указаны допустимые значения таких свойств штукатурных покрытий как: 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 плотности раствора, класса по прочности на сжатие, теплопроводности и огнестойкости.

Этого 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.

О влиянии разности модулей упругости кладки и штукатурного покрытия, на прочность сцепления между ними, указывали в своих работах Я.Паплавскис, А.Фрош, Э. Гранау [7, 8], однако только синхронизации этого показателя тоже недостаточно. Стеновую конструкцию следует рассматривать как многослойную систему, в которой, в зависимости от свойств материала кладки, необходимо целенаправленно модифицировать штукатурку, создать условия для формирования качественной контактной зоны между ними.

В связи с этим важным является рассмотрение механизмов протекающих при нанесении раствора и его твердении. Необходима разработка методологии определения характера и механизма трещинообразования в системе, математического аппарата для вычисления величин напряжений возникающих в ней. И с учетом этого, проектировать составы штукатурных покрытий с заданными свойствами, которые позволят сформировать качественную контактную зону, обеспечат релаксацию напряжений возникающих в стеновой системе.

Важно проектировать состав штукатурного раствора и исходя из процессов, протекающих при нанесении штукатурной смеси, ее твердении и эксплуатации ограждающей конструкции. Понимание механизма процессов протекающих в системе «кладка - штукатурное покрытие» позволит разработать теоретические предпосылки улучшение работы системы, сформулировать критерии и требования к штукатурному покрытию и растворной смеси, заложить эти предпосылки при проектировании и подборе состава раствора.

Механизм деструктивных процессов, протекающий при нанесении штукатурного покрытия и эксплуатации здания, имеет следующую картину. После нанесения растворной 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.

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

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

При эксплуатации происходит деформация стеновой конструкции. Деформация кладки происходит под воздействием постоянных и временных нагрузок, усадки кладочного раствора, карбонизации газобетона, увлажнения парообразной влагой мигрирующей из помещения и конденсирующейся внутри конструкции, а также температуры. Деформации штукатурного покрытия происходят из-за увлажнения атмосферной влагой, воздействия плюсовых и минусовых температур, деформации кладки (рис.1; 2).

$$\Delta L_p = \alpha \Delta T_p L \quad \Delta L_c = \alpha \Delta T_c L \quad (2)$$

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

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

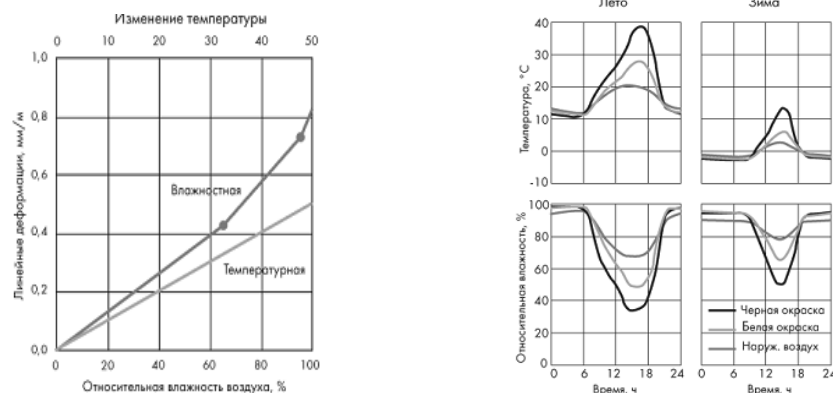


Рисунок 1 - Графики изменения: температур, влажности штукатурки, температурных и ее влажностных деформаций [3]

Деформация стеновой конструкции (рис.2), разность деформаций кладки и штукатурного покрытия (рис.3) приводит к возникновению напряжений в системе «кладка-штукатурное покрытие» (рис.4).

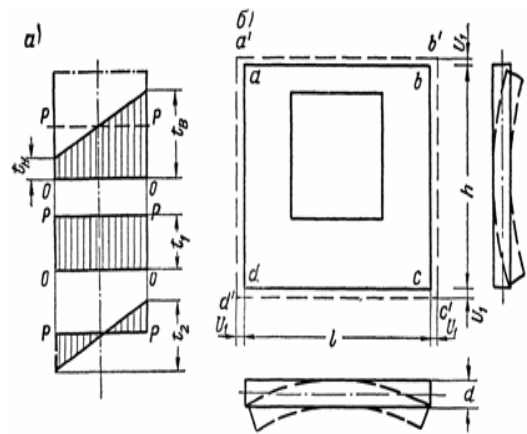


Рисунок 2 - Температурные деформации стеновой конструкции
а – распределение температур в ограждающей конструкции;
б – температурные деформации [1]

Из-за разности коэффициентов термического расширения, модуля упругости газобетона и штукатурного покрытия в контактной зоне возникают напряжения сдвига:

$$\tau = [\Delta T_1 \alpha_1 - \Delta T_2 \alpha_2] / [1/E_1 + 1/E_2] \tag{4}$$

- где: τ – напряжение сдвига от температурных деформаций, кгс/см²;
 $\Delta T_1; \Delta T_2$ – разность температуры покрытия и кладки;
 $\alpha_1; \alpha_2$ – коэффициент термического расширения кладки и покрытия;
 $E_1; E_2$ – модули упругости кладки и покрытия, кгс/см²;

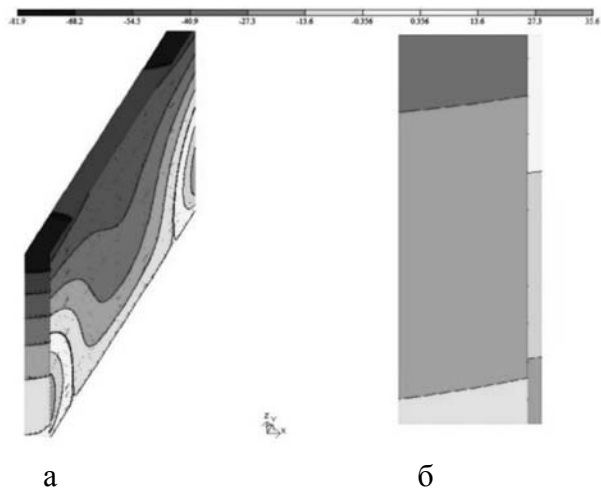


Рисунок 3 - Температурные деформации
а) в ограждающей конструкции и
б) контактной зоне

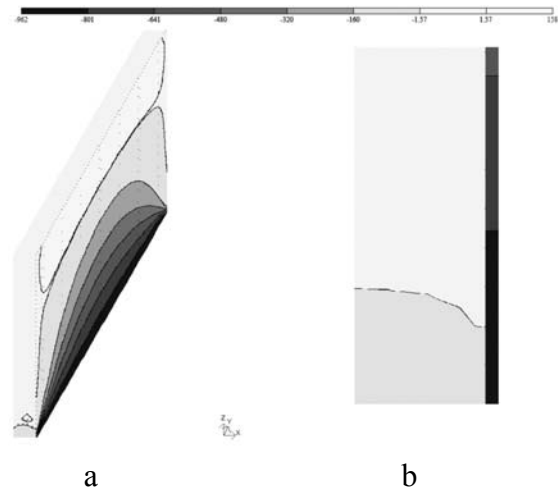


Рисунок 4 - Напряжения:
а) в ограждающей конструкции и
б) контактной зоне

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

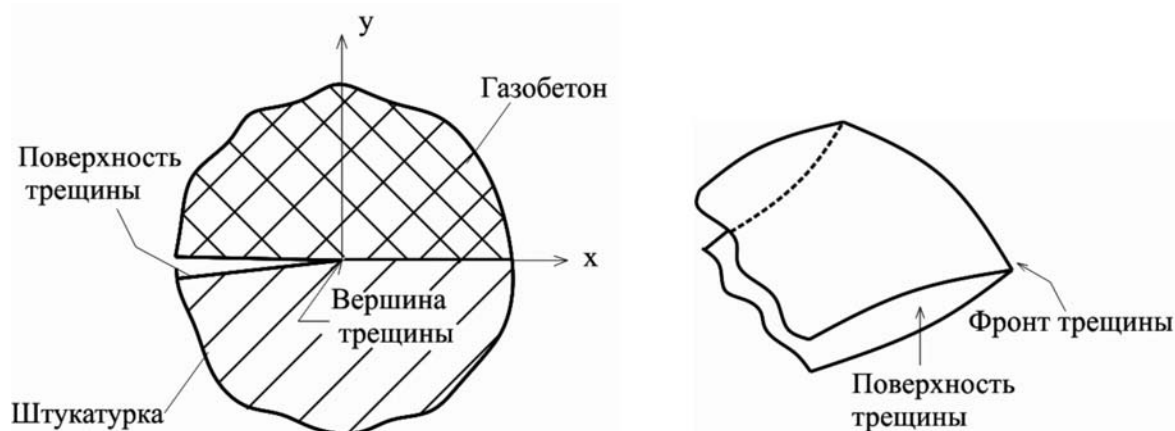
$$dl/dN=A(\Delta K)^n \quad (5)$$

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.

$$dl/dN=C_0(K_{\max}-K_{th}/K_c-K_{\max})^q \quad (6)$$

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



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

Для такой системы характерно усталостное разрушение, при относительно низком уровне напряжений и частой их цикличности. В отличие от гомогенного материала (бетона, раствора), трещина развивается на границе двух разнородных материалов с отличительными свойствами, газобетонной кладке и штукатурке. Основной причиной развития усталостных повреждений является изменение концентрации упругопластических деформаций и величина напряжений в вершине магистральной трещины при циклическом нагружении системы, при увлажнение-высушивание, нагревание-охлаждение. При нагревании или увлажнении, или при их совместном воздействии, происходит рост упругопластических деформаций в контактной зоне «газобетонная кладка-штукатурное покрытие», что приводит к увеличению радиуса кривизны вершины дефектов расположенных в ней. Пока уровень деформаций и напряжения, меньше предельного значения адгезионной прочности, трещина не растет. Если в ходе дальнейшего роста внешней нагрузки деформации и напряжения в вершине трещины превзойдут предельный уровень, произойдет ее подрастание. На обратном ходе цикла нагружения (охлаждении или высушивании), происходит частичное восстановление геометрии вершины трещины и размера пластической зоны, существовавших в начале цикла нагружения, 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 присутствия влаги, агрессивных жидкостей и газов, отрицательных температур. Так, например, в здании,

построенном в г.Рига, уже через 24 года эксплуатации, в штукатурке наблюдалось большое количества трещин шириной 0,2-2 мм, на 30% площади фасада штукатурка потеряла сцепление с газобетонной кладкой. Имелись значительные отпадения штукатурки по всему фасаду здания [2].

Для повышения долговечности ограждающей конструкции необходимо предотвратить протекание вышеуказанных деструктивных процессов, обеспечить совместность работы газобетонной кладки и штукатурного покрытия. Для этого еще на стадии проектирования состава раствора и его свойств, необходимо учитывать характеристики составляющих системы «кладка-штукатурное покрытие», с учетом совместности их работы. 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 повышения адгезии между штукатуркой и кладкой необходимо использовать значительный капиллярный потенциал газобетонного основания. При нанесении растворной смеси, поры будут «присасывать» ее к себе, обеспечивая максимальную площадь контакта между ними. У обычного раствора этого не происходит, так как отсос влаги приводит к его усадке и отслоению от газобетонного основания. Для того, чтобы обеспечить максимальную площадь контакта, необходимо, чтобы растворная смесь имела высокую водоудерживающую способность. Поэтому в ее состав мы вводили заполнитель и наполнитель (карбонатный, бой газобетона, перлит, вермикулит) водоудерживающий эффект от которых, усиливали при помощи эфиров целлюлозы и релаксированных полимерных порошков.

При нанесении растворной смеси, произойдет адсорбирование полимерцементной суспензии на поверхности поры газобетона. Это обеспечит «анкерование» полимера находящегося в штукатурном растворе. Силикаты кальция газобетона, являясь центрами кристаллизации для неорганических новообразований, обеспечат образование полимерцементного композита в контактной зоне. Введением полимерной фибры в смесь, будет обеспечено микроармирование контактной зоны. Все вместе взятое позволит сформировать контактную зону с малым количеством дефектов, достаточной адгезионной прочностью и эластичностью, позволяющей релаксировать возникающие напряжения.

Однако, только формирование качественного контактного слоя, недостаточно. Рассмотрим систему кладка покрытие как трехслойную систему «штукатурка-контактная зона-газобетонное основание». При использовании штукатурного раствора с прочностью и модулем упругости больше, чем у газобетонного основания, при высокой прочности контактной зоны, разрушение будет происходить по газобетону (когезионное разрушение). Необходимо чтобы кладка и штукатурный раствор 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 4 и 5, приведет к уменьшению напряжений сдвига и скорости продвижения магистральной трещины в контактной зоне. Этого можно добиться введением в смесь мелкого заполнителя с низким модулем упругости (карбонатный и газобетонный песок, перлит, вермикулит). Добавление полимерной дисперсии и полимерной фибры позволит усилить полученный эффект, снизив не только модуль упругости штукатурного раствора, но и уменьшив его температурные и влажностные деформации и добиться снижения трещинообразования в системе «кладка-покрытие».

Исходя из вышеизложенных теоретических предпосылок, нами были подобраны модифицированные штукатурные смеси на различных видах заполнителей и наполнителей – вермикулитовом и из боя газобетона (смесь №1), карбонатном и перлитовом (смесь №2). Для оптимизации рецептурно-технологических параметров использовали пятифакторный эксперимент со следующими варьируемыми факторами, Таблица 1.

Таблица 1

	Диапазон варьирования	Расход вяжущего, кг/м³	Расход заполнителя и наполнителя, м³/м³	Расход фибры, кг/м³	Расход редиспергируемого полимерного порошка Winnapas 5043 Н, %	Расход Tylose MBZ 15009, %
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Смесь №1	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
Смесь №2	1	400	1,05/1	1,2	5	0,5
	0	300	1,05/1	0,9	3	0,3
	-1	200	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 из смеси №2: средняя плотность 700-1100 кг/м³, прочность при изгибе 10-25 кг/см², прочность при сжатии 15-35 кг/см², коэффициент трещиностойкости 0,25-1 (рис. 6-9). Для смеси №1: средняя плотность 600-1500 кг/м³, прочность при изгибе 12-18 кг/см², прочность при сжатии 18-36 кг/см², коэффициент трещиностойкости 0,56-0,74 (рис.10-13).

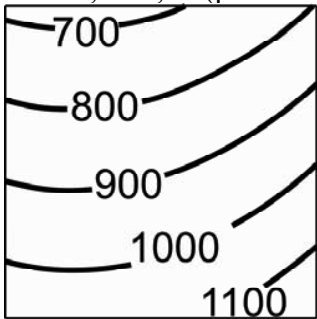


Рисунок 6 - Средняя плотность, кг/м³

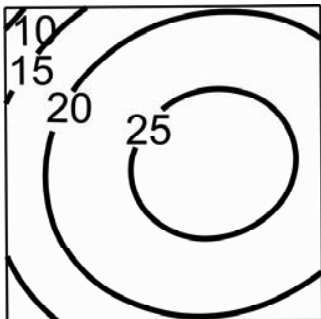


Рисунок 7 - Прочность при изгибе, кгс/см²

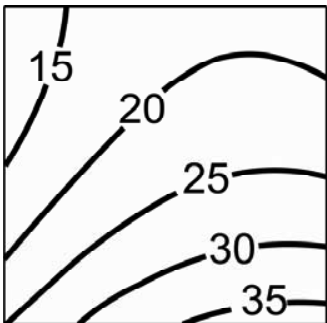


Рисунок 8 - Прочность при сжатии штукатурного раствора, кгс/см²

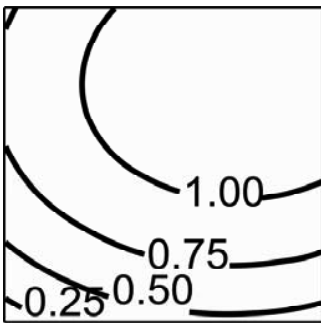


Рисунок 9 - Трещиностойкость штукатурного раствора

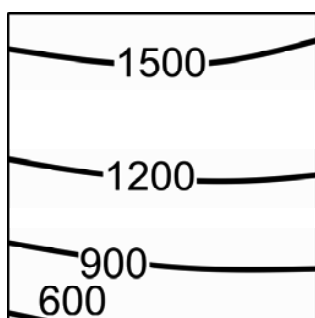


Рисунок 10 - Средняя плотность штукатурного раствора, кг/м³

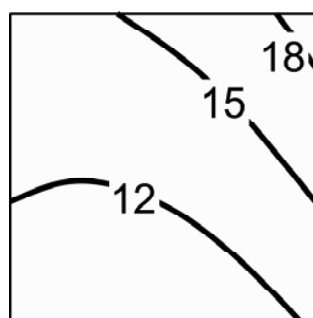


Рисунок 11 - Прочность при изгибе штукатурного раствора, кгс/см²

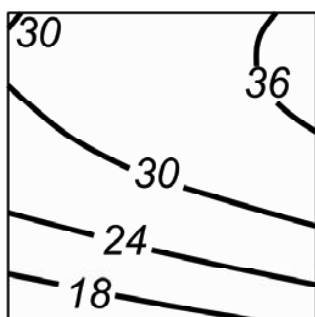


Рисунок 12 - Прочность при сжатии штукатурного раствора, кгс/см²

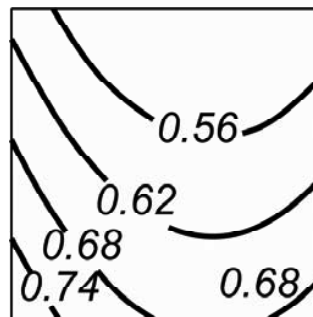


Рисунок 13 - Трещиностойкость штукатурного раствора

Приведенные данные свидетельствуют о том, что целенаправленной модификацией штукатурной смеси, можно улучшить ее параметры и обеспечить совместность работы «газобетонная кладка-штукатурное покрытие». Это в свою очередь, обеспечит повышение долговечности стеновой конструкции.

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. Журнал «АВОК» №6, 2007 г.
4. ДСТУ (Проект) Конструкції будинків і споруд Стіни із блоків з автоклавного газобетону. Загальні технічні умови, Киев, 2012
5. СТО 501-52-01-2007 ч.І «Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации», Москва 2009 г.
6. EN 998-1:2003 “Specification for mortar for masonry. Part 1: Rendering and plastering mortar”.
7. 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
8. Гранау Э. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях. Москва. Стройиздат. 1980.- с.234