

Теоретические предпосылки оптимизации рецептурно-технологических параметров штукатурных растворов для стен, выполненных из газобетонных блоков

К.т.н., доцент В. А. Парута;
аспирант А. А. Саевский;
студент Ю. А. Семина;
студент Е. А. Столяр;
студент А. В. Устенко,*

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры;
к.т.н., начальник отдела маркетинга Е. В. Брынзин,
ООО «UDK GAZBETON»*

Ключевые слова: автоклавный ячеистый бетон; штукатурки для газобетона; подбор состава штукатурных растворов

Повсеместное применение автоклавного газобетона требует разработки эффективных технологий его отделки. Оштукатуривание стен из автоклавного газобетона с последующей отделкой (декоративные штукатурки, фасадные краски) является одним из наиболее эффективных технико-экономических решений. Однако часто приходится наблюдать значительное трещинообразование в штукатурном покрытии, а также в зоне контакта покрытия и газобетонной кладки. Разрушение штукатурного слоя приводит к ухудшению теплоизоляционных параметров ограждающей конструкции и понижению ее долговечности.

Происходит это из-за того, что при проектировании состава штукатурки и ее свойств 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 [9] указаны допустимые значения следующих свойств штукатурных покрытий: сопротивление паропрооницанию, водонепроницаемость спустя 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 [10] 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 соотношение не только параметров их паропрооницаемости, но и параметров прочности при сжатии и растяжении, модуля упругости, деформаций (температурных, влажностных, карбонизационных). Нельзя назначать один и тот же состав раствора для газобетонных блоков с разной средней плотностью: 300 и 700 кг/м³.

На то, что разница между модулями упругости основания и штукатурного покрытия влияет на прочность сцепления между ними, указывали в своих работах Я. Паплавскис, А. Фрош, Э. Гранау [5,11]. Однако синхронизации только этого показателя тоже недостаточно. Стеновую конструкцию следует рассматривать как многослойную систему, в которой, в зависимости от свойств материала кладки, необходимо модифицировать штукатурку, создавать условия для формирования качественной контактной зоны между слоями.

В связи с этим важным моментом является рассмотрение процессов, протекающих при нанесении раствора и его твердении. Необходимо разработать методику определения характера и механизма трещинообразования в системе, а также начать создание математического аппарата для вычисления напряжений, возникающих в ней. С учетом вышесказанного, необходимо 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, исходя также 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 для улучшения работы системы, сформулировать критерии и требования к штукатурному покрытию и растворной смеси, заложить эти предпосылки при проектировании состава раствора.

При нанесении 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 трещин в нем и в контактной зоне с газобетонным основанием. Причиной трещин в штукатурном растворе являются напряжения (δ), возникающие из-за его усадки и разницы деформаций кладки и штукатурного покрытия ($\Delta\epsilon$):

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

где E и μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона штукатурного покрытия; $\Delta\epsilon$ – разность деформаций штукатурки и газобетонного основания.

При эксплуатации происходит деформация стеновой конструкции. Деформация кладки происходит под воздействием постоянных и временных нагрузок, из-за 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. 1,2).

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

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

где ΔL_p , ΔL_c – деформации растяжения и сжатия; α – коэффициент температурного удлинения материала; ΔT – разность температур; L – длина стенового элемента; $\Delta L_{тв}$ – тепло-влажностные деформации; F_m – показатель материальных дефектов; ΔL_q – влажностные деформации.

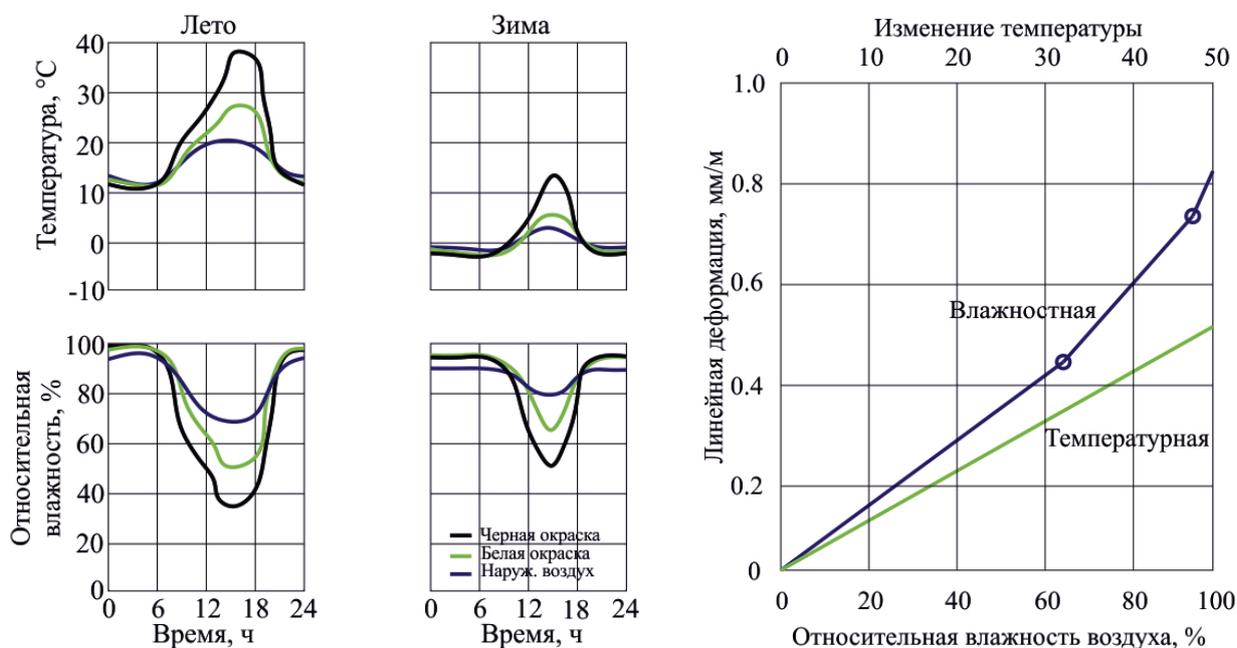


Рисунок 1. Графики изменения температур и влажности

Парута В.А., Саевский А.А., Семина Ю.А., Столяр Е.А., Устенко А.В., Брынзин Е.В. Теоретические предпосылки оптимизации рецептурно-технологических параметров штукатурных растворов для стен, выполненных из газобетонных блоков

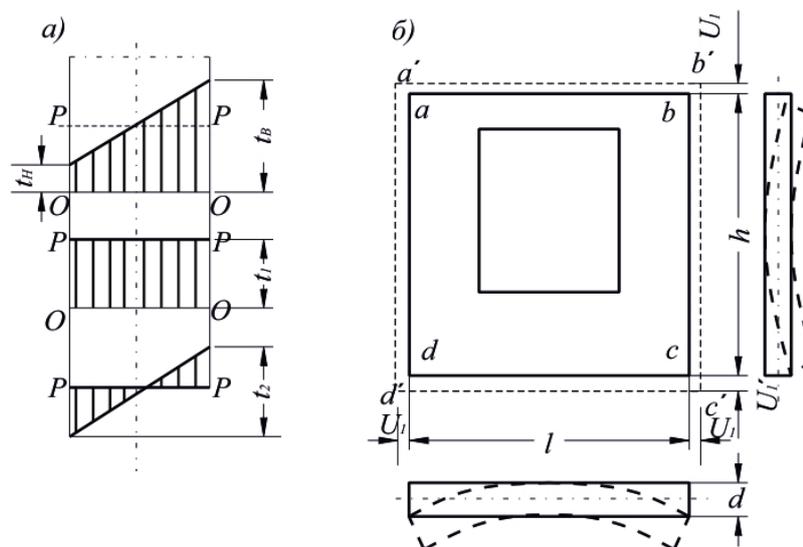
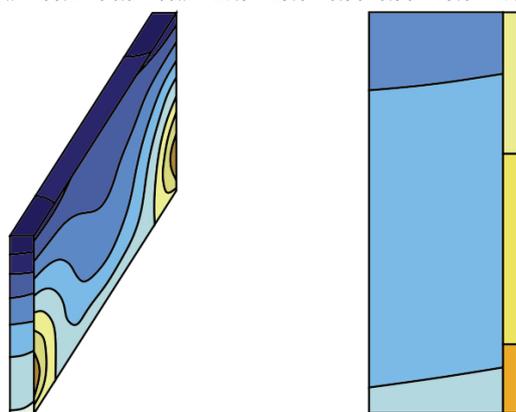


Рисунок 2. Температурные деформации стеновой конструкции: а – распределение температур в ограждающей конструкции; б – температурные деформации [1]

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

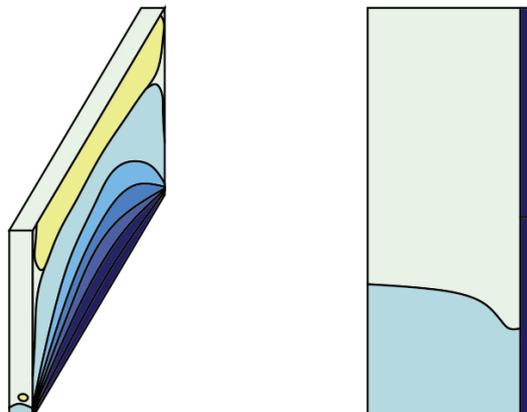
$$\tau = [\Delta T_1 \alpha_1 - \Delta T_2 \alpha_2] / \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right], \tag{4}$$

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



а) в ограждающей конструкции б) в контактной зоне

Рисунок 3. Температурные деформации



а) в ограждающей конструкции б) в контактной зоне

Рисунок 4. Напряжения

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

$$\frac{dl}{dN} = A(\Delta K^n), \tag{5}$$

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.

Для такой системы характерно усталостное разрушение при относительно низком уровне напряжений и частой их цикличности.

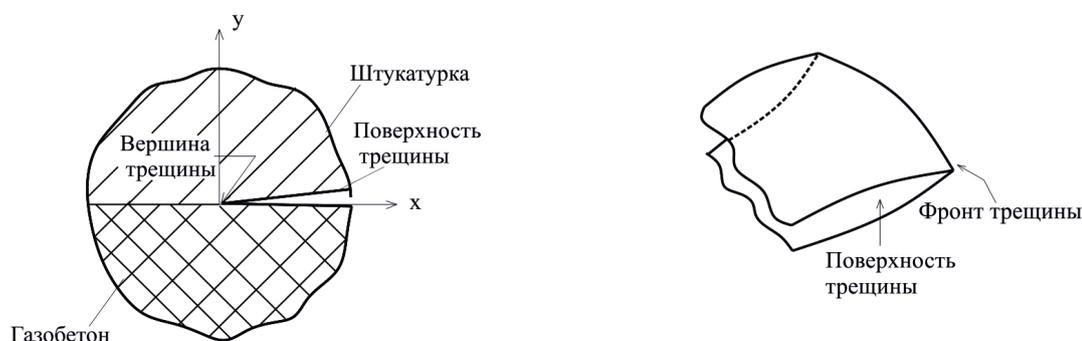


Рисунок 5. Характер трещинообразования в контактной зоне «газобетонная кладка–штукатурное покрытие»

Трещина развивается на границе двух разнородных материалов – газобетонной кладки и штукатурки, имеющих различные свойства. Основной причиной развития трещины является изменение деформации и напряжения в ее вершине, возникающие при увлажнении-высушивании, нагревании-охлаждении стеновой конструкции. При нагревании, увлажнении или при их совместном воздействии происходит рост деформаций в контактной зоне «газобетонная кладка–штукатурное покрытие», что приводит к увеличению радиуса кривизны вершины трещины. Пока уровень деформаций меньше предельного значения адгезионной прочности, трещина не растет. Если в ходе дальнейшего роста внешней нагрузки показатели деформации и 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 пластической зоны, однако в дальнейшем длина трещины увеличивается.

Это приводит к разрушению в контактной зоне, отслоению штукатурного покрытия от кладки преимущественно по адгезионному типу. Процесс интенсифицируется из-за наличия влаги, агрессивных жидкостей и газов, отрицательных температур. Так, например, в здании, построенном в г. Риге, уже через 24 года эксплуатации в штукатурке наблюдалось большое количество 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].

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 проектирования состава раствора, необходимо задавать такие его свойства, которые обеспечат совместность его работы с газобетонным основанием.

Снизить температурно-влажностные деформации и напряжения, вызванные ими в покрытии и контактной зоне, можно путем подбора состава штукатурного покрытия со свойствами, наиболее близкими к свойствам газобетонной кладки. Этого можно добиться, целенаправленно модифицируя растворную смесь, создавая условия для формирования бездефектной контактной зоны и штукатурного покрытия.

Для формирования бездефектной контактной зоны необходимо использовать высокий капиллярный потенциал газобетонного основания. При нанесении растворной смеси поры газобетона будут «присасывать» ее к себе, обеспечивая максимальную площадь контакта между ними. У не модифицированной растворной смеси этого не происходит, так как отсос влаги приводит к ее усадке и отслоению раствора от газобетонного основания. Для того чтобы обеспечить максимальную площадь контакта, необходимо, чтобы растворная смесь имела высокую водоудерживающую способность. Поэтому в ее состав мы вводили наполнитель и наполнитель (карбонатный, керамзитовый, бой газобетона, перлит, вермикулит),

Парута В.А., Савеский А.А., Семина Ю.А., Столяр Е.А., Устенко А.В., Брынзин Е.В. Теоретические предпосылки оптимизации рецептурно-технологических параметров штукатурных растворов для стен, выполненных из газобетонных блоков

водоудерживающий эффект от которых усиливали при помощи эфиров целлюлозы и редиспергируемых полимерных порошков.

При нанесении растворной смеси будет происходить смачивание поверхности газобетонных пор полимерцементной суспензией. Водная дисперсия полимера, проникая в межпоровые перегородки, обеспечит механическое зацепление полимера, находящегося в штукатурном растворе, и адгезии раствора к газобетонному основанию. Силикаты кальция в составе газобетона, являясь центрами кристаллизации для новообразований цементного камня, будут способствовать формированию качественной структуры полимерцементного композита в контактной зоне. Вводя в смесь полимерную фибру и эфиры целлюлозы, мы обеспечим микроармирование контактной зоны. Все эти факторы позволят сформировать контактную зону с малым количеством дефектов, достаточной адгезионной прочностью, трещиностойкостью и эластичностью, позволяющей релаксировать напряжения, возникающие в системе «кладка-штукатурное покрытие».

Однако только формирования бездефектной контактной зоны недостаточно. Рассмотрим стеновую конструкцию как трехслойную систему «штукатурка – контактная зона – газобетонное основание». При использовании штукатурного раствора с большей прочностью и большим модулем упругости, чем у газобетонного основания, и 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 1,4,5) к уменьшению растягивающих напряжений в штукатурке, напряжений сдвига и уменьшению скорости продвижения магистральной трещины в контактной зоне. Этого можно добиться введением в смесь мелкого заполнителя и наполнителя с низким модулем упругости (карбонатный, керамзитовый, газобетонный, перлитовый, вермикулитовый). Введение полимерной дисперсии и полимерной фибры позволит усилить полученный эффект. Снижение модуля упругости штукатурного раствора до величин, сопоставимых с модулем упругости газобетонного основания, уменьшение его температурных и влажностных деформаций обеспечат повышение трещиностойкости и долговечности системы «кладка-покрытие».

Исходя из вышеизложенных теоретических предпосылок, мы подобрали модифицированные штукатурки на смеси заполнителей и наполнителей – керамзитового и из боя газобетона (состав 1), карбонатного и перлитового (состав 2). Модифицирующий эффект усиливали введением редиспергируемого полимерного порошка Winnapas 8031 H и Tylose MBZ 15009. Для оптимизации рецептурно-технологических параметров использовали пятифакторный эксперимент с варьируемыми факторами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Варьируемые параметры штукатурной смеси

Диапазон варьирования	Расход вяжущего, кг/м ³	Расход заполнителя и наполнителя, кг/м ³	Расход фибры, кг/м ³	Расход редиспергируемого полимерного порошка Winnapas 8031 H, % от вяжущего	Расход Tylose MBZ 15009, % от вяжущего
	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 1100–1300 кг/м³, прочность при сжатии 30–120 кг/см² (состав 1, рис. 6–7), средняя плотность 600–1300 кг/м³, прочность при сжатии 15–60 кг/см², (состав 2, рис. 8–9).

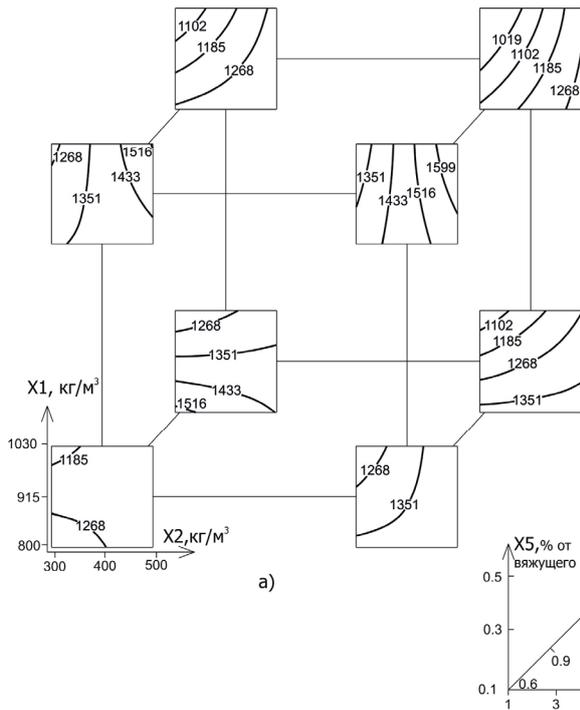


Рисунок 6. Прочность на сжатие при изгибе, кг/см²

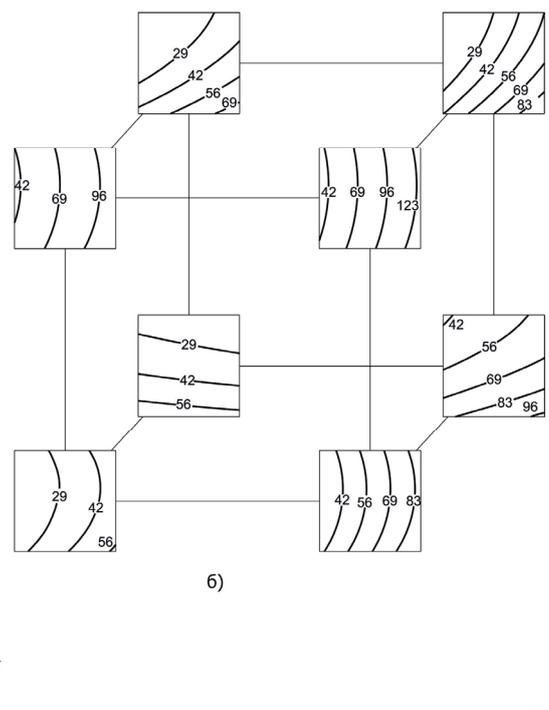


Рисунок 7. Прочность на сжатие, кг/см²

X1 – Вяжущее, X2 – Заполнитель, X3 – Фибра полимерная,
X4 – Vinnapas 8031H, X5 – Tylose MBZ 15009

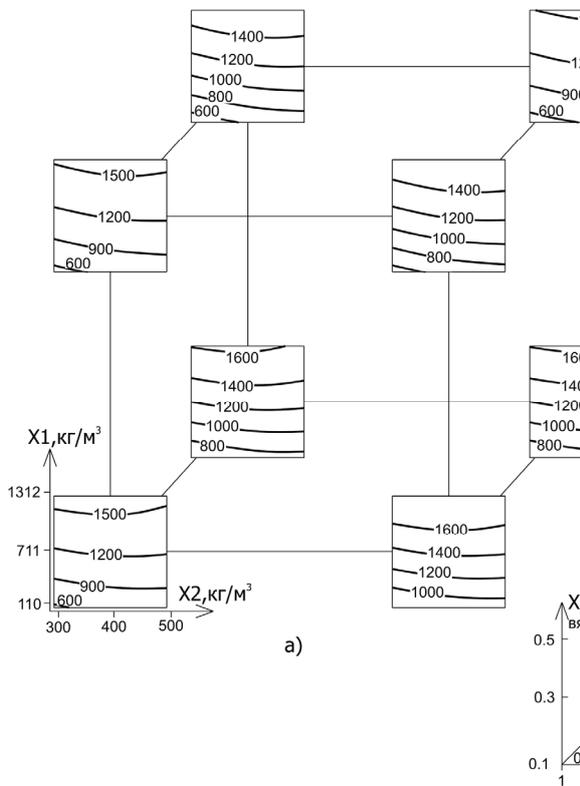


Рисунок 7. Прочность на сжатие при изгибе, кг/см²

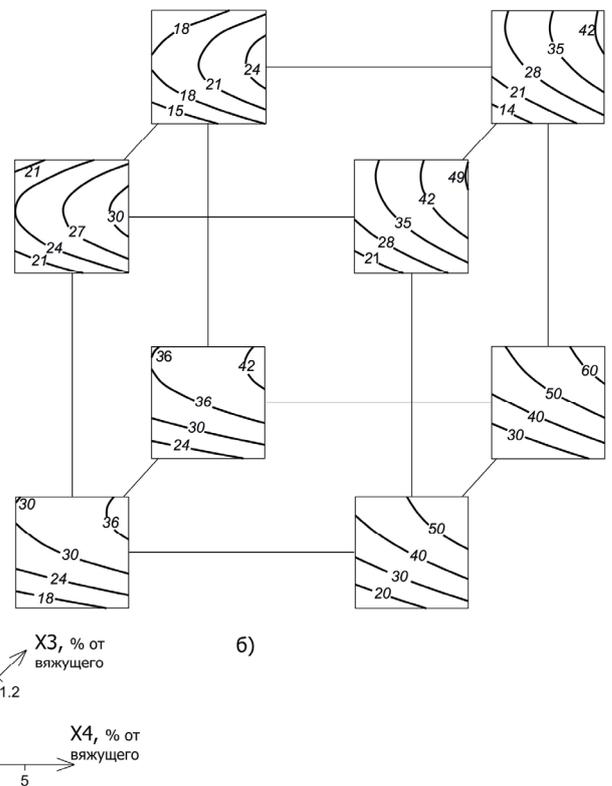


Рисунок 8. Прочность на сжатие, кг/см²

X1 – Вяжущее, X2 – Заполнитель, X3 – Фибра полимерная,
X4 – Vinnapas 8031H, X5 – Tylose MBZ 15009

Парута В.А., Саевский А.А., Семина Ю.А., Столяр Е.А., Устенко А.В., Брынзин Е.В. Теоретические предпосылки оптимизации рецептурно-технологических параметров штукатурных растворов для стен, выполненных из газобетонных блоков

Приведенные данные свидетельствуют о том, что целенаправленной модификацией штукатурной смеси можно улучшить ее параметры и обеспечить совместность работы системы «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. М.: Издательство литературы по строительству, 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. М.: Издательство литературы по строительству, 1964. С. 137-153.
3. Гагарин В. Г. Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем // АВОК. 2007. №6. С. 34-36.
4. Коломацкий А. С., Гринфельд Г. И., Загороднюк Л. Х., Коломацкая С. А., Горшков А. С., Вишневский А. А. Руководство по наружной отделке стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения / Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона России. Белгород, 2010. 47 с.
5. Паплавский Я., Фрош А. 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 ред. Н.И.Ватина. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2010. С. 10-15.
6. Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М., 1992. 84 с.
7. Грановский А. В. К вопросу о повышении надежности наружных стен высотных зданий из ячеистобетонных блоков // Технологии строительства .2008. №7(62). С. 18-22.
8. Парута В. А., Брынзин Е. В., Гайденок Ю. А., Демешко Е. И. Теоретические предпосылки повышения долговечности наружных стен из автоклавного газобетона // Строительные материалы, изделия и санитарная техника. 2011. №40. С. 136-140.
9. СТО 501-52-01-2007. Ч. I Проектирование и возведение ограждающих конструкций жилых и общественных зданий с применением ячеистых бетонов в Российской Федерации. М., 2009.
10. EN 998-1:2003 «Specification for mortar for masonry. Part 1: Rendering and plastering mortar».
11. Гранау Э. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях. М.: Стройиздат. 1980. 234 с.
12. Марчукитис Г. В., Гнип И. Я. Влияние состава штукатурного раствора на его деформативные свойства // Строительные материалы. 2003. №9. С. 23-29.
13. Парута В. А. и др. 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. Киев, 2011. 189 с.
14. Парута В. А. [и др.] Пособие по проектированию малоэтажных зданий из автоклавного бетона с альбомом технических решений / «УкрНДІПрогивілісьбуд» Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины. Киев, 2011. 163 с.
15. Homann M. Richtig Bauen mit Porenbeton. Stuttgart, Germany, 2003. 268 с.
16. Helmut Künzel. Außenputz. Untersuchungen, Erfahrungen, Überlegungen // Fraunhofer IRB Verlag. 2003. Pp. 23-27.
17. Herman H. Advances in Thermal Spray Technology // Advanced Materials & Processes. 1990. №4. Pp. 41-45.
18. Celarie F., Prades S., Bonamy D., Ferrero L., Bouchaud E., Gulliot C., Marliere C. // Physical Review Letters. 2003. Pp. 24-28.

**Валентин Анатольевич Парута, г. Одесса, Украина
Тел. раб.: +38(048)723-84-34; эл. почта: docent2155@gmail.com*

© Парута В.А., Саевский А.А., Семина Ю.А., Столяр Е.А., Устенко А.В., Брынзин Е.В., 2012
Парута В.А., Саевский А.А., Семина Ю.А., Столяр Е.А., Устенко А.В., Брынзин Е.В. Теоретические предпосылки оптимизации рецептурно-технологических параметров штукатурных растворов для стен, выполненных из газобетонных блоков

doi: 10.5862/MCE.34.4

Theoretical preconditions for optimization of composition and technological parameters of the plaster for walls made of aerated concrete blocks

V.A. Paruta;
A.A. Sayevskiy;
Yu.A. Semina;
E.A. Stolyar;
A.V. Ustenko,
E.V. Brynzin,

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, Ukraine;

UDK GAZBETON, Dnepropetrovsk, Ukraine
+38(048)723-84-34; e-mail: docent2155@gmail.com

Key words

autoclaved aerated concrete; plaster for aerated concrete; selection of plaster

Abstract

The paper reveals the mechanism of cracking in the "aerated concrete masonry - plaster coating" system, which causes the reduction of cladding's durability. The temperature deformations in the structure are analyzed.

On this basis the theoretical background to optimize the composition and technological parameters of the plaster was developed. The composition of plaster mixtures based on the expanded clay, carbonate, perlite and other fillers was also developed.

The proposition that targeted modification of plaster can ensure optimal operation of the "laying-plaster" system is experimentally confirmed.

References

1. Emelyanov A.A. *Analiz prichin avari i povrezhdeniy stroitelnykh konstruksiy* [Cause analysis of building structures damages and crashes: proceedings]. Vypusk 2. Moscow: Izdatelstvo literatury po stroitelstvu, 1964. Pp.153-177. (rus)
2. Silayenkov Ye.S., Zarin R.A., Rudin P.V. *Analiz prichin avari i povrezhdeniy stroitelnykh konstruksiy* [Cause analysis of building structures damages and crashes: proceedings]. Vypusk 2. Moscow: Izdatelstvo literatury po stroitelstvu, 1964. Pp. 137-153.
3. Gagarin V.G. *AVOK*. No. 6. Pp.34-36. (rus)
4. Kolomatskiy A.S., Grinfeld G.I., Zagorodnyuk L.Kh., Kolomatskaya S.A., Gorshkov A.S., Vishnevskiy A.A. *Rukovodstvo po naruzhnoy odelke sten iz yacheistobetonnykh blokov avtoklavnogo tverdeniya* [Guidelines on exterior finish of autoclaved aerated concrete buildings]. Natsionalnaya assotsiatsiya proizvoditeley avtoklavnogo gazobetona Rossii. Belgorod, 2010. 47 p.
5. Paplavskis Ya., Frosh A., *Shtukaturnyye sostavy dlya naruzhnoy odelki sten iz gazobetona: materialy seminara; pod redaktsiyey N.I.Vatina* [Plastering compositions for exterior finishing walls made of aerated concrete: proceedings of the seminar; edited by N.I. Vatin]. Saint-Petersburg: Izd-vo Politekhnikeskogo un-ta, 2010. Pp.10-15. (rus)
6. *Rekomendatsii po primeneniyu stenovykh melkikh blokov iz yacheistykh betonov* [Guidance on the application of wall blocks made of cellular concretes]. Moscow, 1992. 84 p.
7. Granovskiy A.V. *Tekhnologii stroitelstva*. 2008. No. 7(62). Pp. 18-22. (rus)
8. Paruta V.A., Brynzin Ye.V., Gaydenko Yu.A., Demeshko Ye.I. *Stroitelnyye materialy, izdeliya i sanitarnaya tekhnika*. 2011. No. 40. Pp. 136-140. (rus)
9. STO 501-52-01-2007. Ch. I *Proyektirovaniye i vozvedeniye ograzhdayushchikh konstruksiy zhilykh i obshchestvennykh zdaniy s primeneniyyem yacheistykh betonov v Rossiyskoy Federatsii* [Construction and erection of filler structures of apartment and public buildings with the application of cellular concretes in Russian Federation]. Moscow, 2009. 68 p. (rus)
10. EN 998-1:2003. Specification for mortar for masonry. Part 1: Rendering and plastering mortar. 32 p.

Paruta V.A., Sayevskiy A.A., Semina Yu.A., Stolyar E.A., Ustenko A.V., Brynzin E.V. Theoretical preconditions for optimization of composition and technological parameters of the plaster for walls made of aerated concrete blocks

11. Granau E. *Preduprezhdeniye defektov v stroitelnykh konstruktsiyakh* [Defect prevention in building structures]. Moscow: Stroyizdat, 1980.-Pp.234. (rus)
12. Marchukaytis G.V., Gnip I.Ya. *Stroitelnyye materialy*. 2003. No. 9. Pp.29-23. (rus)
13. Paruta V.A. et al. *Album-posobiye dlya proyektirovaniya i proizvodstva robot, NIISP, Ministerstva regionalnogo razvitiya, stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Ukrainy* [Album-manual for construction and production. Research Institute of Building Production. Ministry for Regional Development, Building and Housing of Ukraine]. Kiev, 2011. 189 p.
14. Paruta V.A. et al. *Posobiye po proyektirovaniyu maloetazhnykh zdaniy iz avtoklavnogo betona s albumom tekhnichnikh resheniy. «UkrNDIProtsivsilbud» Ministerstva regionalnogo razvitiya, stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Ukrainy* [Manual on construction of low-rise apartment buildings made of autoclaved concrete with an album of technical solutions]. Kiev, 2011. 163 p.
15. Homann M. *Richtig Bauen mit Porenbeton*. Stuttgart, 2003. 268 p.
16. Helmut Künzel. Außenputz. Untersuchungen, Erfahrungen, Überlegungen. *Fraunhofer IRB Verlag*. 2003. Pp. 23-27.
17. Herman H. Advances in Thermal Spray Technology. *Advanced Materials & Processes*. 1990. No. 4. Pp. 41-45.
18. Celarie F., Prades S., Bonamy D., Ferrero L., Bouchaud E., Gulliot C., Marliere C. Glass Breaks Like Metal, but at the Nanometer Scale. *Physical Review Letters*. 2003. 90,075504. Pp. 24-28.

Full text of this article in Russian: pp. 30-36