



Парута В. А.



Дорофеев В. С.



Брынзин Е. В.

**Парута В.А., канд.техн.наук, доцент,
Дорофеев В.С., доктор техн.наук, профессор,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ОГАСА), г. Одесса
Брынзин Е.В., канд.техн.наук, начальник отдела маркетинга, ООО ЮДК, г. Днепрпетровск**

КРИТЕРИИ, ИСХОДЯ ИЗ КОТОРЫХ НЕОБХОДИМО ПРОЕКТИРОВАТЬ СОСТАВЫ ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ СТЕН ИЗ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

Нормативные требования (прочность при сжатии и изгибе, адгезия к кладке), предъявляемые к штукатурным растворам для стен из автоклавного газобетона противоречивы и не обоснованы. Штукатурное покрытие следует рассматривать как покрытие, связанное с кладкой через контактную зону.

Проектирование составов и свойств, штукатурных растворов необходимо вести с учетом напряжений возникающих в штукатурном покрытии из-за его усадки и разницы деформаций с кладкой, а также деформаций стеновой конструкции и самого покрытия.

Необходимо выбирать компоненты смеси и их количество, с учетом процессов протекающих при твердении штукатурного покрытия и разрушении системы «кладка-штукатурное покрытие». Их применение должно обеспечить снижение напряжений в штукатурном покрытии и контактной зоне до величин, меньших чем разрушающее напряжение.

Нормативные требования, предъявляемые к штукатурным растворам для стен из автоклавного газобетона противоречивы и по нашему мнению, не обоснованы. Так, например, прочность при сжатии должна варьироваться 1,5 до 7,5 МПа (Россия), 2,5 МПа (ДСТУ Б В.2.7126:2011, ДБН В.2.6-22-2001 Украина) и достигая 10 МПа в соответствии с требованием норм Германии (DIN18550-1). Прочность на изгиб должна составлять от 1-1,25 МПа (ДСТУ Б В.2.7126:2011, ДБН В.2.6-22-2001 Украина) до 2 МПа (Россия). Величина адгезии к газобетонной кладке варьируется от 0,15 МПа (Россия), для Украины 0,5 МПа (ДБН В.2.6-22-2001) достигая 3 МПа (Россия).

Штукатурный раствор, по нашему мнению, следует рассматривать как покрытие, связанное с кладкой через контактную зону. Необходимо выбирать компоненты смеси и их количество с учетом процессов протекающих при твердении штукатурного покрытия и разрушении системы «кладка-штукатурное покрытие». Их применение должно обеспечить снижение напряжений в штукатурном покрытии и контактной зоне до величин, меньших чем разрушающее напряжение.

Проектирование составов и свойств, штукатурных растворов необходимо вести с учетом напряжений возникающих в штукатурном покрытии из-за его усадки и разницы деформаций с кладкой, а также деформаций стеновой конструкции и самого покрытия.

Напряжения в штукатурном покрытии (σ), из-за его усадки и разницы деформаций с кладкой ($\Delta\varepsilon$) рассчитывают по формуле:

$$\sigma = \Delta\varepsilon \cdot \nu \cdot E / (1 - \mu)$$

где: E и μ – модуль упругости и коэффициента Пуассона штукатурного покрытия; $\Delta\varepsilon$ – разность деформаций штукатурки и газобетонного основания; $\nu < 1$ – коэффициент упругопластических деформаций раствора при растяжении.

Для марки 25

При: $E = 4 \cdot 10^3$ МПа [46]; $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{шт} = 0,3...0,8$ мм/м или 30...80-10-5; $\mu = 0,3$; $\nu = 0,5$; При минимальной усадке раствора:
 $\sigma = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 0,85$ МПа
 При максимальной усадке раствора:
 $\sigma = 80 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 2,28$ МПа

Для марки 50

При: $E = 6 \cdot 10^3$ МПа [46]; $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{шт} = 0,3...0,8$ мм/м или 30...80-10-5; $\mu = 0,3$; $\nu = 0,5$ [47]:
 При минимальной усадке раствора:
 $\sigma = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 1,28$ МПа;
 При максимальной усадке раствора:
 $\sigma = 80 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 3,42$ МПа

Для марки 100

При $E = 14 \cdot 10^3$ МПа;
 $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{шт} = 0,3...0,8$ мм/м или 30...80-10-5; $\mu = 0,3$; $\nu = 0,5$:
 При минимальной усадке раствора:
 $\sigma = 30 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 14 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 3,0$ МПа
 При максимальной усадке раствора:
 $\sigma = 80 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 14 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 8,0$ МПа

Расчетное сопротивление на растяжение для расчета по образованию трещин для М25 = 0,3 МПа, М50 = 0,35 МПа, для М100 = 0,4 МПа, и разрушающего напряжения для М25 = 0,4 МПа, М50 = 0,5 МПа, для М100 = 0,6 МПа.

При помощи программы «Ансис» были рассчитаны деформация стеновой конструкции при температурном воздействии, при положительных и отрицательных температурах (рис. 1).

В зависимости от температуры окружающей среды, деформации и напряжения стеновой конструкции имеют различный характер. При отрицательных температурах

наблюдается деформация стеновой конструкции с выгибом в сторону помещения. При этом фасадная поверхность стенового материала и наружное штукатурное покрытие испытывают деформации сжатия. Разрушение происходит в контактной зоне из-за различия величин деформаций и возникающих сдвигающих напряжений. У кладки выполненной при плюс 30°C, коэффициенте температурного расширения газобетонной кладки 8·10⁻⁶ град⁻¹ и изменении температуры от +30 до -20°C, Δt = 50°C, полная температурная деформация сжатия составит:

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

Полная деформация сжатия штукатурного покрытия стеновой конструкции длиной 8 м, составит:

$$\Delta \ell = \ell_0 \cdot \alpha_m \cdot \Delta \theta = 8 \cdot 0,0000104 \cdot 50 = 0,0044 \text{ м};$$

где: Δℓ – деформации штукатурного покрытия в м, вследствие влияния изменения температуры; ℓ₀ – первоначальная длина стеновой конструкции в м; α_t – коэффициент температурного расширения в мм/м°C (1/°C); Δθ – разность температур, °C; t₁ – температура окружающей среды в момент возведения нанесенного штукатурного покрытия; t₂ – максимальная и минимальная температура, воздействию которой подвергается штукатурное покрытие в летний и зимний периоды;

В летний период, при нагреве поверхности стеновой конструкции до 60-80°C, она выгибается в сторону фасада. При этом и кладка и штукатурное покрытие испытывают деформации растяжения.

При нагреве до 80°C, полная температурная деформация расширения газобетонной кладки составит:

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

Полная деформация расширения штукатурного покрытия стеновой конструкции, при этой температуре, составит:

$$\Delta \ell = \ell_0 \cdot \alpha_m \cdot \Delta \theta = 8 \cdot 0,0000104 \cdot 50 = 0,0044 \text{ м}$$

Эти деформации предопределяют напряжения в штукатурном покрытии и контактной зоне его с газобетонной кладкой, что приводит к переходу микротрещин образовавшиеся на стадии твердения, в макротрещины и росту магистральных трещин в штукатурном покрытии и контактной зоне.

Стеновая конструкция и штукатурное покрытие имеют градиент деформаций и напряжений, которые вызывают зарождение новых микротрещин и развитие макротрещин в штукатурном покрытии и контактной зоне.

При помощи программы «Ли́ра» были рассчитаны деформации и напряжения в стеновой конструкции, штукатурном покрытии (рис. 2) и в контактной зоне «газобетонная кладка – штукатурное покрытие» (рис. 3).

Приведенные данные подтверждают вышеприведенные предположения о том, что кладка, выполненная из автоклавного газобетона и штукатурное покрытие нанесенная на нее, имеют различные температурные деформации, которые вызывают градиент напряжений в системе «кладка-штукатурное покрытие».

Градиент деформаций и напряжений наблюдается как в кладке, так и в штукатурном покрытии, а из-за разности коэффициентов температурного расширения возникают деформации и напряжения сдвига в контактной зоне «кладка-штукатурное покрытие» (рис. 3).

Это приводит к зарождению новых микротрещин в штукатурном покрытии и развитие макротрещин и магистральных трещин в нем. Также возникают микротрещины и развиваются макротрещины и магистральные трещины в контактной зоне «газобетонная кладка-штукатурное покрытие».

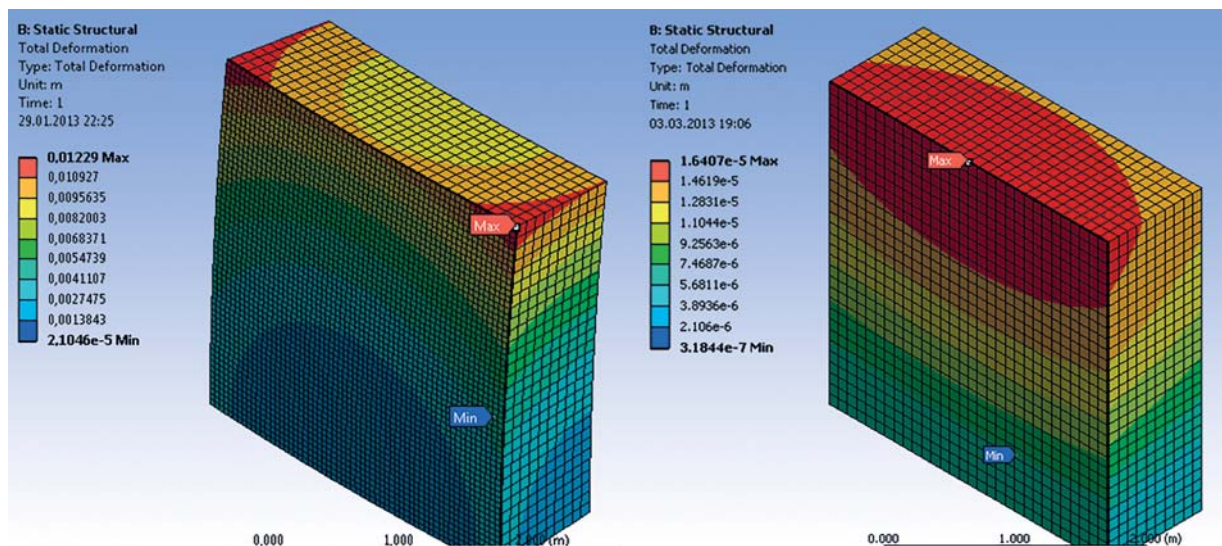


Рис. 1. Изополя деформаций в ограждающей конструкции

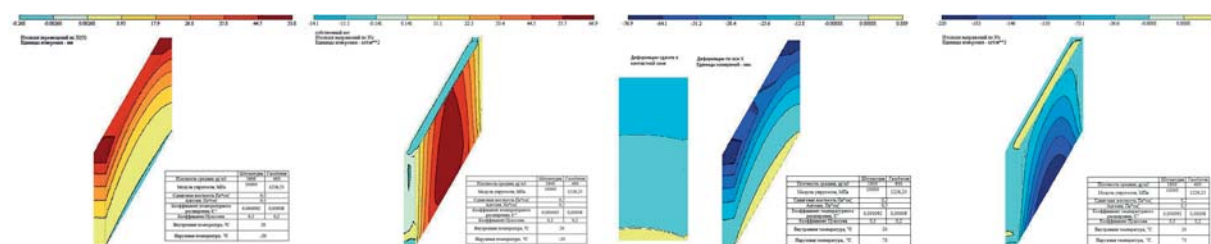


Рис. 2. Деформации стеновой конструкции под влиянием температурных воздействий зимой (а) и летом (б)

Величины напряжений в штукатурном покрытии зависят от свойств материала кладки и штукатурного покрытия. Нами был произведен расчет, при помощи программы «Ли́ра», величины напряжений в штукатурном покрытии при широкой комбинации вариантов этих показателей (табл.1.).

В качестве варьируемых факторов использовались средняя плотность, коэффициент температурного расширения, модуль упругости полученных штукатурных растворов и газобетонного основания. Полученные данные представлены в таблице 1 и на рисунке 4.

Полученные данные и их графические интерпретации сви-

детельствуют о влиянии характеристик газобетонной кладки и штукатурного покрытия на напряженное состояние последнего.

Для иллюстрации полученных зависимостей, на основании полученных данных был рассчитан двухфакторный план.

Варьируемыми параметрами явилась средняя плотность, коэффициент температурного расширения материала, модуль упругости и коэффициент Пуассона газобетона (Γ) и штукатурного покрытия (Ш).

Уровни варьирования факторов приведены в таблице 2, матрица планированного эксперимента, в таблице 3.

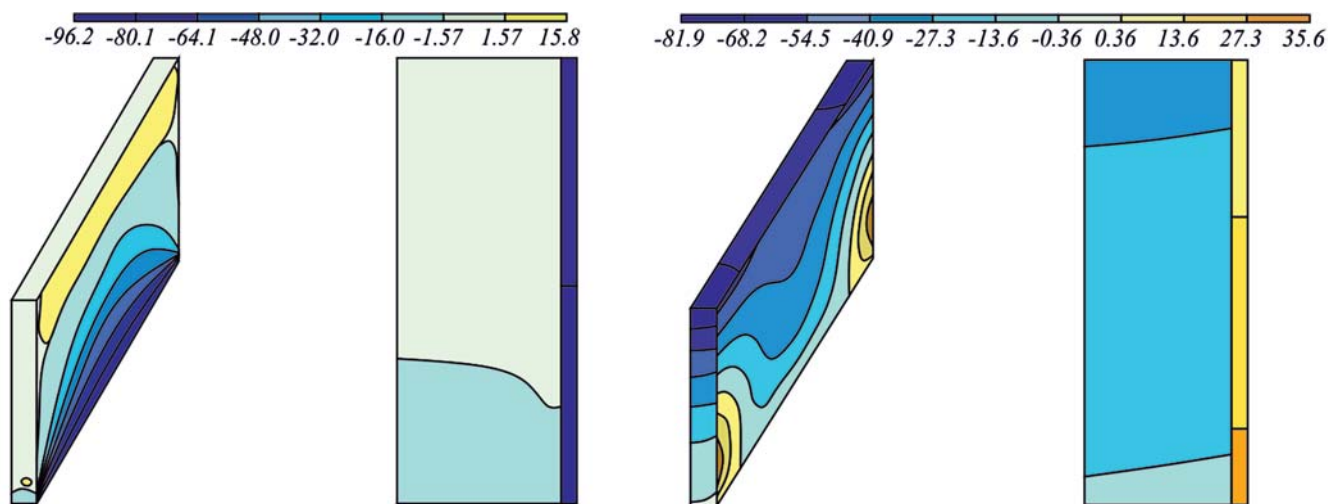


Рис. 3. Изополя деформаций и напряжений в стеновой конструкции и штукатурном покрытии

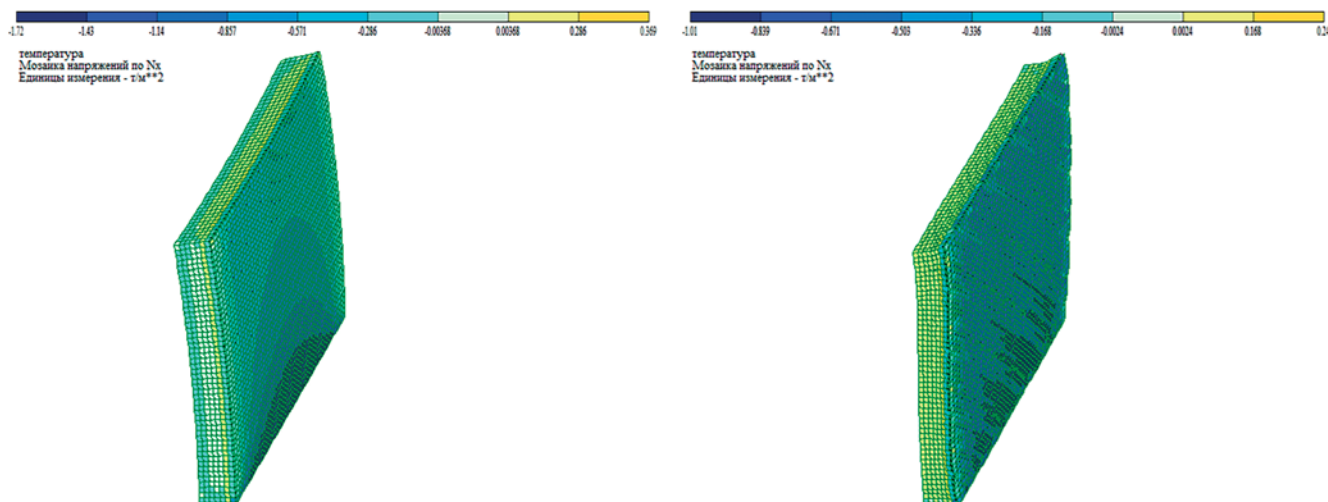


Рис. 4. Напряжения в штукатурном покрытии

Таблица 1.

Напряжения штукатурном покрытии, т/м²

№ пп	Средняя плотность, кг/м ³		Напряжения, (т/м ²)	
	Γ	Ш	$N_x \text{ min,}$	$N_x \text{ max,}$
1	400	600	-1,01	0,24
2	400	800	-1,54	0,35
3	400	1000	-1,62	0,42
4	400	1200	-1,72	0,48
5	400	1800	-1,83	0,54
6	500	600	-1,22	0,458
7	500	800	-1,47	0,52
8	500	1000	-2,03	0,58
9	500	1200	-3,43	0,64
10	500	1800	-4,48	0,72
11	600	600	-1,48	0,55
12	600	800	-1,83	0,64
13	600	1000	-2,87	0,72
14	600	1200	-3,74	0,78
15	600	1800	-5,33	0,87

Уровни варьирования факторов для расчета напряжений в штукатурном покрытии

№	Средняя плотность, кг/м ³	Уровень варьирования факторов		
		-1	0	1
X1	Газобетона	400	500	600
X2	Штукатурки	600	1200	1800

Полученные графические зависимости свидетельствуют о том, что при отрицательных температурах наибольшее влияние на напряженное состояние штукатурного покрытия оказывает его собственные свойства. При уменьшении средней плотности, прочности и модуля упругости, напряжения сжатия в штукатурном покрытии уменьшаются (Рис. 5).

При плюсовых температурах, на напряженное состояние штукатурного покрытия оказывает влияние, как свойства штукатурного покрытия, так и газобетонной кладки. При уменьшении средней плотности, прочности при сжатии и модуля упругости материала кладки и штукатурного раствора, напряжения в штукатурном покрытии уменьшаются (рис. 5).

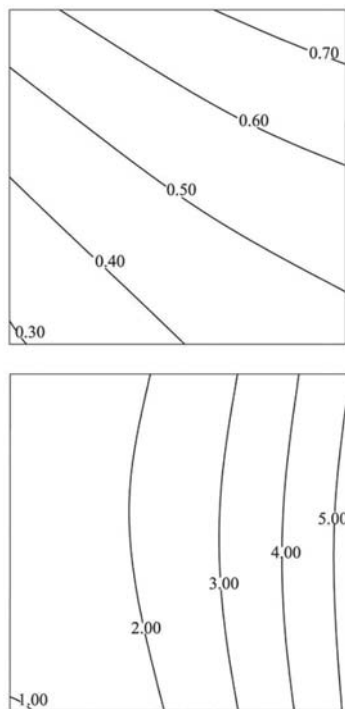


Рис. 5. Напряжения в штукатурном покрытии из-за температурных деформаций, т/м²

Таблица 3.

Матрица планированного эксперимента и результаты расчета

№ пп	X ₁	X ₂	Напряжения	
			Nx min, т/м ²	Nx max, т/м ²
1	-1	-1	-1,01	0,24
2	-1	0	-1,72	0,48
3	-1	1	-1,83	0,54
4	0	-1	-1,22	0,46
5	0	0	-3,43	0,64
6	0	1	-4,48	0,72
7	1	-1	-1,48	0,55
8	1	0	-3,74	0,78
9	1	1	-5,33	0,87

Выводы

Нормативные требования, предъявляемые к штукатурным растворам для стен из автоклавного газобетона противоречивы и по нашему мнению, не обоснованы. Необходимы критерии для назначения свойств материала (прочность при сжатии и при изгибе, адгезия и др.), ими должны быть напряжения возникающие в штукатурном покрытии при твердении и эксплуатации. Штукатурное раствор, следует рассматривать как покрытие, связанное с кладкой через контактную зону. Необходимо выбирать компоненты смеси и их количество с учетом процессов протекающих при твердении штукатурного покрытия и разрушении системы «кладка-штукатурное покрытие». Их применение должно обеспечить снижение напряжений в штукатурном покрытии и контактной зоне до величин, меньших, чем разрушающие напряжения.

Проектирование составов и свойств, штукатурных растворов необходимо вести с учетом напряжений возникающих в штукатурном покрытии из-за его усадки и разницы деформаций с кладкой, а также деформаций стеновой конструкции и самого покрытия.

При эксплуатации стеновая конструкция, испытывает различные воздействия: силовые, температурные и влажностные, ветровую нагрузку. Приведенные расчеты позволяют определить величины напряжений при твердении раствора, температурных деформациях, которые необходимо учитывать при проектировании составов штукатурных растворов.

Отмечено, что с уменьшением средней плотности, коэффициента температурного расширения материала, модуля упругости и коэффициента Пуассона материала кладки и штукатурного покрытия, температурные напряжения уменьшаются в 2,3-5 раз.

Литература:

1. Грануа Э. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях. Москва. Стройиздат. 1980.- с.217
2. Г.В. Марчюкайтис, И.Я. Гнип Влияние состава штукатурного раствора на его деформативные свойства //Строительные материалы, 2003, № 9. С.36-38
3. Вандоловский А.Г., Казимагомедов И.Э., Деденева Е.Б. Повышение прочности композиционных материалов на цементной матрице Вісник ОДАБА Випуск № 35 Одеса „Місто майстрів», 2009. с.50-55
4. Дорофеев В.С. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций / Дорофеев В.С., Выровой В.Н. – Одесса, Город мастеров, 1998. – 168с.
5. Парута В.А. Механика разрушения системы «газобетонная кладка-штукатурное покрытие» // Инженерно-строительный журнал №3, 2014, Петербург, с.48-55
6. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Основи бетонознавства – К.: Основа, 2007.1