

**Парута Валентин Анатольевич**, канд. техн. наук, доцент, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса (Украина)

**Ляшук Александр Александрович**, студент, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса (Украина)

**Valentin Paruta**, PhD in Engineering Science, Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa (Ukraine)

**Lyashuk Aleksandr**, student, Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa (Ukraine)

## **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАЗНАЧЕНИЯ СВОЙСТВ И ПОДБОРА СОСТАВА ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ГАЗОБЕТОННОЙ КЛАДКИ**

## **PHYSICAL AND MECHANICAL GROUNDS FOR SETTING PROPERTIES AND SELECTING COMPOSITIONS OF PLASTER SOLUTIONS FOR AEROCRETE MASONRY**

### **АННОТАЦИЯ**

*Нормативные требования (прочность при сжатии и изгибе, адгезия к кладке), предъявляемые к штукатурным растворам для стен из автоклавного газобетона противоречивы и не обоснованы.*

*Штукатурный раствор 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 при твердении, а также деформаций стеновой конструкции и самого покрытия при эксплуатационных нагрузках.*

*Перед назначением свойств (прочность при сжатии и изгибе, адгезия к газобетонному основанию) должен быть выполнен расчет напряжений, возникающих в штукатурном покрытии при твердении и эксплуатации, и именно исходя из них, проектировать свойства их составов.*

*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.*

## ABSTRACT

*Normative requirements (durability at compression and bend, adherence to laying) to plasters for autoclave aerocrete walls are contradictory and not grounded.*

*Plaster should be regarded as a cover associated with laying through the contact zone. Design of structures and properties of plaster solutions need to be kept in view with the stress arising in plaster because of its shrinkage and deformation difference with masonry when hardening as well as deformation of the wall structure and the coating under operational loads.*

*The analysis of stress in plastering and curing operation should be performed before the appointment of the properties (compressive and bending strength, adherence to the aerocrete base).*

*It is necessary to choose components of mixture and their amount, taking into account the processes taking place during plaster hardening and destruction of the system «masonry – plaster covering». Their application must provide the decline of tensions in plaster covering and contact area to the sizes, less than stress-at-break.*

**Ключевые слова:** газобетонная кладка, напряжения в системе «кладка-штукатурное покрытие», штукатурные покрытия и проектирование их составов

**Keywords:** aerated concrete masonry, tension in the system «laying-clout coverage», plasters and designing their compositions

## ВВЕДЕНИЕ

Высокая стоимость и дефицит энергоресурсов требуют внедрения энергосберегающих технологий в строительное производство. Наиболее целесообразным решением стеновой конструкции является использование автоклавного газобетона [7]. Оштукатуренные стены с декоративной отделкой (декоративные штукатурки, фасадные краски) являются оптимальным технико-экономическим решением декоративно-защитного покрытия. Поэтому разработка составов штукатурных растворов для автоклавного газобетона и технологии их применения является актуальной задачей, которую решают многие специалисты [1-4]. Недостатком разработанных составов является то, что им всем, в той или иной мере, присуще трещинообразование [3,5], которое приводит к разрушению штукатурного покрытия, снижению долговечности ограждающей конструкции.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

По нашему мнению, это происходит из-за того, что при проектировании состава штукатурного покрытия не в полной мере учитывают его работу в составе стеновой конструкции, и не обоснованы его основные физико-механические свойства. Нормативные требования, предъявляемые к штукатурным растворам для стен из автоклавного газобетона, противоречивы. Так, например, прочность при сжатии должна варьироваться 1,5 до 7,5 МПа (Россия), 2,5 МПа (Украина) и достигать 10 МПа в соответствии с требованием норм Германии. Прочность на изгиб должна составлять от 1-1,25 МПа (Украина) до 2 МПа (Россия). Величина адгезии к газобетонной кладке варьируется от 0,15 МПа (Россия), для Украины – 0,5 МПа, достигая 3 МПа (Россия). При этом необходимо учитывать, что средняя плотность автоклавного газобетона варьируется от 600 до 150 кг/м<sup>3</sup>, а следовательно, изменяются и другие основные свойства. Необоснованно завышенные прочностные параметры являются причиной трещинообразования в штукатурном покрытии, контактной зоне его с газобетонной кладкой, или материале кладки, что приводит к снижению долговечности стеновой конструкции.

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». Проектирование составов и свойств штукатурных растворов необходимо вести с учетом напряжений, возникающих в штукатурном покрытии из-за его усадки и разницы деформаций с кладкой при твердении, а также деформаций стеновой конструкции и самого покрытия при эксплуатации. За счет этого необходимо снизить напряжения в штукатурном покрытии и контактной зоне до величин, меньших, чем разрушающие.

Разрушение штукатурного покрытия обусловлено образованием, накоплением и развитием дефектов в структуре материала (микро- и макротрещин), которые образуются при нанесении, твердении и эксплуатации [8,10,11]. Особенностью процесса твердения штукатурного раствора является то, что гидратация цемента протекает при недостаточном количестве воды, из-за ее интенсивного испарения и поглощения пористым основанием. В этих условиях формируется дефектная структура цементного камня, образуются неравновесные, метастабильные поликристаллические новообразования. Твердение при пониженном В/Ц приводит к неполной реализации вяжущего потенциала цемента,

падению прочности, повышенному трещинообразованию и снижению долговечности затвердевшего штукатурного покрытия [9].

Происходит гидравлическая (0,3...0,8 мм/м) и пластическая (2...5 мм/м) усадка штукатурного раствора [1] (рис.1). Так как газобетонная кладка сдерживает эти деформации, то это приводит к возникновению напряжений в штукатурном покрытии ( $\delta$ ), которые превышают его предел прочности при растяжении:

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

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

Для марки 25: при  $E=4 \cdot 10^3$  МПа;  $\Delta \varepsilon = \varepsilon_{шт} = 0,3...0,8$  мм/м или  $30...80 \cdot 10^{-5}$ ;  $\mu=0,3$ ;  $\nu=0,5$ ; при минимальной усадке раствора:  $\sigma = 30 \cdot 1^{-5} \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 0,85$  МПа; при максимальной усадке раствора:  $\sigma = 80 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 2,28$  МПа.

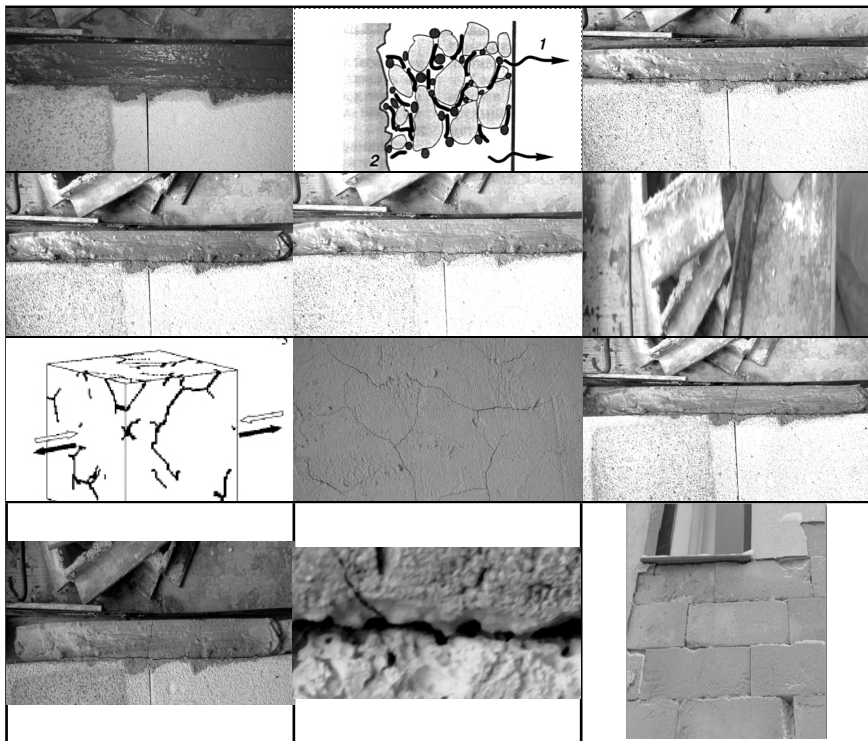
Для марки 50: при  $E=6 \cdot 10^3$  МПа;  $\Delta \varepsilon = \varepsilon_{шт} = 0,3...0,8$  мм/м или  $30...80 \cdot 10^{-5}$ ;  $\mu=0,3$ ;  $\nu=0,5$ ; при минимальной усадке раствора:  $\sigma = 30 \cdot 1^{-5} \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 1,28$  МПа; при максимальной усадке раствора:  $\sigma = 80 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 3,42$  МПа.

Для марки 100: при  $E=14 \cdot 10^3$  МПа;  $\Delta \varepsilon = \varepsilon_{шт} = 0,3...0,8$  мм/м или  $30...80 \cdot 10^{-5}$ ;  $\mu=0,3$ ;  $\nu=0,5$ ; при минимальной усадке раствора:  $\sigma = 30 \cdot 1^{-5} \cdot 0,5 \cdot 11 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 3,0$  МПа; при максимальной усадке раствора:  $\sigma = 80 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 \cdot 11 \cdot 10^3 / (1 - 0,3) = 8,0$  МПа.

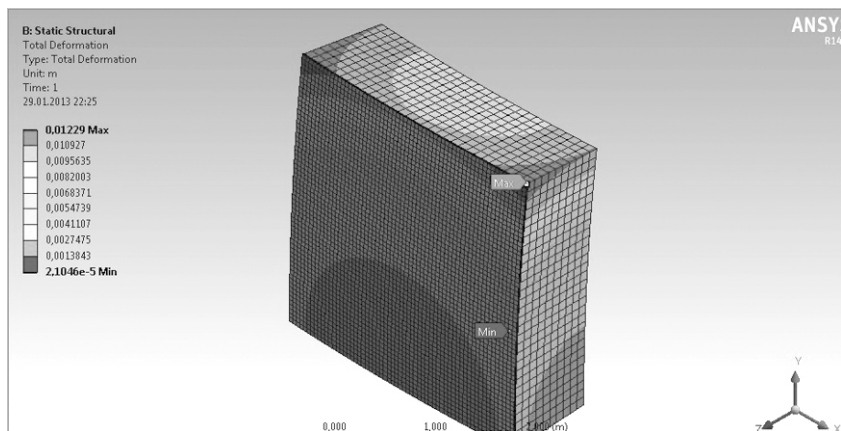
Расчетное предельное сопротивление на растяжение для расчета по образованию трещин для М25=0,3МПа, М50=0,35МПа, для М100=0,4 МПа, и разрушающего напряжения для М25=0,4МПа, М50=0,5 МПа, для М100=0,6 МПа.

Из-за этих напряжений и из-за того, что уменьшение степени гидратации цемента привело к снижению предельной растяжимости материала на 20...50% [3,5,6], происходит трещинообразование в штукатурном покрытии, на поверхности и в объеме материала, а также в контактной зоне с газобетонным основанием (рис. 1).

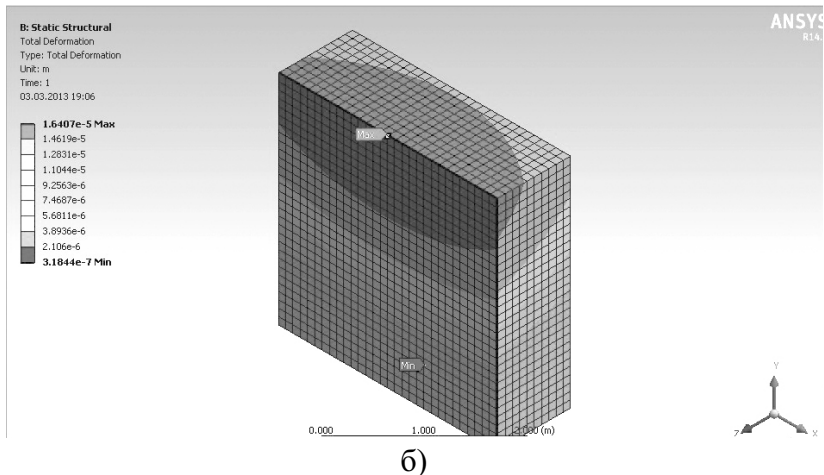
При эксплуатации стеновая конструкция испытывает тепло-влажностные деформации под воздействием внешней среды. При помощи программы «Ансис» были рассчитаны температурные деформации стеновой конструкции при положительных и отрицательных температурах (рис.2).



**Рисунок 1.** Трещинообразование в системе «газобетонное основание – штукатурное покрытие»



a)



**Рисунок 2.** Изополя деформаций ограждающей конструкции при отрицательных (а) и положительных температурах (б)

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. У кладки, выполненной при температуре плюс 30°C, коэффициенте температурного расширения газобетонной кладки  $8 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> и изменении температуры от +30 до -20°C,  $\Delta t = 50^\circ\text{C}$ , полная температурная деформация сжатия составит:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t = 8 \cdot 0,000008 \cdot 50 = 0,0032 \text{ м} = 3,2 \text{ мм}. \quad (2)$$

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

$$\Delta \ell = \ell_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta \theta = 8 \cdot 0,0000104 \cdot 50 = 0,0044 \text{ м} = 4,4 \text{ мм}; \quad \Delta \theta = 50^\circ\text{C}, \quad (3)$$

где  $\Delta \ell$  – деформации штукатурного покрытия в м, вследствие влияния изменения температуры;  $\ell_0$  – первоначальная длина стеновой конструкции в м;  $\alpha_t$  – коэффициент температурного расширения в мм/м°C (1/°C);  $\Delta \theta$  – разность температур, °C;  $t_1$  – температура окружающей среды в момент нанесения штукатурного покрытия;  $t_2$  – 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.

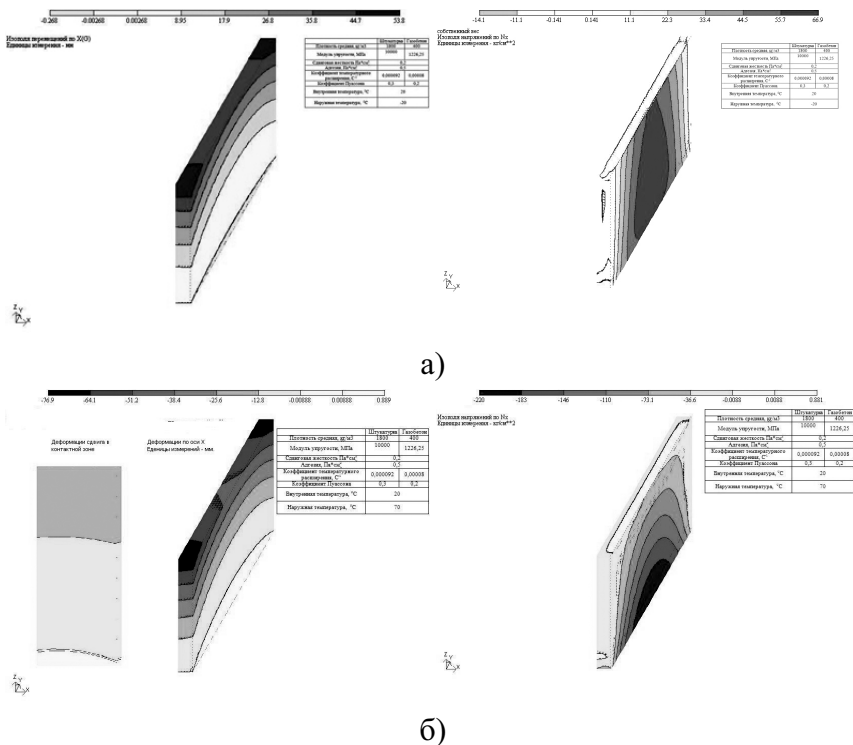
При нагреве до 80°C, полная температурная деформация расширения газобетонной кладки составит:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t = 8,0,000008 \cdot 50 = 0,0032 \text{ м} = 3,2 \text{ мм.} \quad (4)$$

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

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta \theta = 8,0,0000104 \cdot 50 = 0,0044 \text{ м} = 4,4 \text{ мм.} \quad (5)$$

Эти деформации определяют 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.



**Рисунок 3.** Деформации стеновой конструкции под влиянием температурных воздействий зимой (а) и летом (б)

Стеновая конструкция и штукатурное покрытие имеют градиент деформаций и напряжений, вызывающие зарождение новых микротрещин и развитие макротрещин в штукатурном покрытии и контактной зоне, которые были определены при помощи программы «Ли́ра» (рис.3).

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.

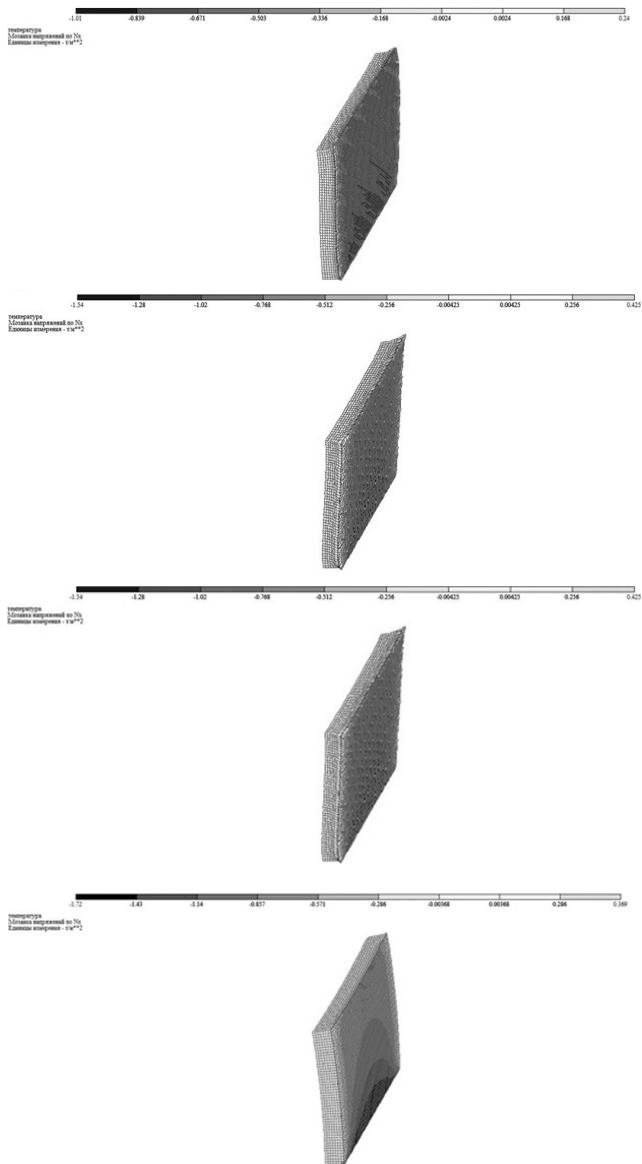
*Таблица 1*

**Напряжения штукатурном покрытии, т/м<sup>2</sup>**

| №<br>пп | Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> |            | Напряжения<br>N <sub>x</sub> min, (т/м <sup>2</sup> ) | Напряжения<br>N <sub>x</sub> max, (т/м <sup>2</sup> ) |
|---------|--------------------------------------|------------|---|---|
|         | газобетона                           | штукатурки |   |   |
| 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  |

Полученные данные и их графические интерпретации свидетельствуют о влиянии характеристик газобетонной кладки и штукатурного покрытия на напряженное состояние последнего.





**Рисунок 4.** Напряжения в штукатурном покрытии

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

влияние основных характеристик материала кладки и штукатурного покрытия на напряжения в штукатурном покрытии, возникающем при температурном воздействии. Варьируемыми параметрами явились средняя плотность, коэффициент температурного расширения материала, модуль упругости и коэффициент Пуассона материала кладки и штукатурного покрытия. Уровни варьирования факторов приведены в таблице 2, матрица планированного эксперимента – в таблице 3.

*Таблица 2*

### Уровни варьирования факторов для расчета напряжений в штукатурном покрытии

| Условные обозначения | Наименование показателя                                      | Уровень варьирования факторов |      |      |
|----------------------|--|-------------------------------|------|------|
|                      |  | -1                            | 0    | 1    |
| X1                   | Средняя плотность газобетона (кг/м <sup>3</sup> )            | 400                           | 500  | 600  |
| X2                   | Средняя плотность штукатурного раствора (кг/м <sup>3</sup> ) | 600                           | 1200 | 1800 |

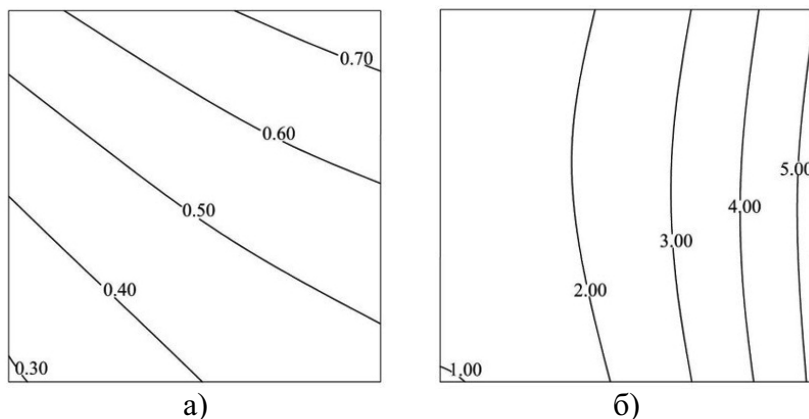
*Таблица 3*

### Матрица планированного эксперимента и результаты расчета напряжений в штукатурном растворе

| № пп | X1 | X2 | Напряжения N <sub>x min</sub> , т/м <sup>2</sup> | Напряжения N <sub>x max</sub> , т/м <sup>2</sup> |
|------|----|----|--|--|
| 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   |

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

При плюсовых температурах, на напряженное состояние штукатурного покрытия оказывают влияние свойства как 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 более значительно (рис. 5б).



**Рисунок 5.** Напряжения в штукатурном покрытии из-за температурных деформаций при минусовых и плюсовых температурах

## ВЫВОДЫ

Нормативные требования, предъявляемые к штукатурным растворам для стен из автоклавного газобетона, противоречивы и, по нашему мнению, не обоснованы. Необходимы объективные 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.

Расчет напряжений для растворов марок 25-100 показал, что напряжения, возникающие в штукатурном покрытии из-за усадки, значительно превышают расчетное предельное сопротивление на растяжение для расчета по образованию трещин и разрушающего напряжения. Для марки 25 превышение составляет в 2,8-7,6 и 2,1-5,7, для марки 50 – в 3,7-9,8 и 2,6-6,8, для марки 100 – в 7,5-20 и 5-13 соответственно.

Температурные напряжения в штукатурном покрытии существенно зависят от свойств материала кладки и самого покрытия. Расчет показал, что при уменьшении средней плотности, прочности, модуля упругости уменьшаются и напряжения в штукатурном покрытии (при минусовых температурах – в 2,3 раза, при плюсовых – в 5 раз).

Именно эти напряжения и должны быть критериями при назначении свойств и проектировании составов штукатурных растворов.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Парута, В. А. Особенности технологии возведения и эксплуатации наружных стен из автоклавного газобетона / В. А. Парута, Ю. А. Семина, Е. А. Столяр, А. В. Устенко, Е. В. Брынзин // Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века. – №12. – С. 35-39.
2. Гранау, Э. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях / Э. Гранау. – М.: Стройиздат, 1980. – 217 с.
3. Сажнева, Н. Н., Сажнев Н. П., Урецкая Е. А. Защитные системы для отделки ячеистого бетона пониженной плотности / Сажнева, Н. П. Сажнев, Е. А. Урецкая // Строительные материалы. – 2009. – №1. – С. 17-19.
4. Халимов, Р. К. Исследование совместной работы строительных материалов в составе современных многослойных теплоэффективных наружных стен зданий : дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук; специальность: 05.23.05 – Строительные материалы и изделия; Уфа, 2007. – 178 с.
5. Паплавскис, Я. 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 / Я. Паплавскис, А. Фрош // 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. Struble L. Microstructure and Fracture at the Cement Paste-Aggregate Interface. // Bond. Cementitious Compos.: Symp., Boston, Mass., Dec.2-4, 1987. -Pittsburgh (Pa), 1988. pp. 11-20
7. Галкин, С.Л. Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика / С. Л. Галкин, Н. П. Сажнев, Л. В. Соколовский, Н.Н. Сажнева. – Минск : Стринко, 2006. – 448 с.
8. Powers T.S. A Hypothesis on carbonation shrinkage. Journal of Portland Cement Association. – Research Development Laboratory. 1962, Vol. 4. No.2. pp.26-31.
9. Homann M. Richtig Bauen mit Porenbeton. Stuttgart, 2003. 268 p.
10. Herman H. Advances in Thermal Spray Technology // Advanced Materials & Processes. 1990. № 4. pp. 41-45.
11. Гринфельд, Г. И. Инженерные решения обеспечения энергоэффективности зданий. Отделка кладки из автоклавного газобе-

тона : учеб. пособие / Г. И. Гринфельд. – СПб.: Изд-во Поли-  
техн. ун-та, 2011. – 130 с.

## REFERENCES

1. Paruta V.A., Semin Y., Joiner E.A., Ustenko A.V., Brynzin E.V. *Building materials, equipment and technologies of the 21st century*. 2012. No.12. pp. 35-39. (rus)
2. Granau E. *Preduprezhdeniye defektov v stroitelnykh konstruktsiyakh* [Prevention of defects in structures]. Moscow : Stroyizdat, 1980. 217 p. (rus)
3. Sazhneva N. N, Sazhnev N. P., Uretskaya E. A. *Building materials*. 2009. No 1. pp. 17-19. (rus)
4. Halimov R. K. *Issledovaniye sovmestnoy raboty stroitelnykh materialov v sostave sovremennykh mnogosloynnykh teploeffektivnykh naruzhnykh sten zdaniy* [Research of collaboration of building materials as part of today's multi-layer thermal efficiency of external walls of buildings]. Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty: 05.23.05 – Building materials and products; Ufa, 2007. 178 p. (rus)
5. Paplavskis J., Frosh A. *Shtukaturnyye sostavy dlya naruzhnoy otdelki sten iz gazobetona* [Plaster compositions outer wall decoration of aerated concrete]: workshop materials; edited by N. I. Vatin. Saint Petersburg : Publishing House of Polytechnic University, 2010. pp.10-15. (rus)
6. Struble L. Microstructure and Fracture at the Cement Paste-Aggregate Interface // Bond. Cementitious Compos.: Symp., Boston, Mass., Dec.2-4, 1987. – Pittsburgh (Pa), –1988. –pp.11-20
7. Galkin S. L., Sazhnev N.P., Sokolovsky L.V., Sazhneva N.N. *Primeneniye yacheistobetonnykh izdeliy. Teoriya i praktika* [The use of cellular concrete products. Theory and Practice]. Minsk : Strinko, 2006. 448 p. (rus)
8. Powers T.S. A Hypothesis on carbonation shrinkage. Journal of Portland Cement Association. – Research Development Laboratory. 1962, Vol. 4. No.2. pp.26-31.
9. Homann M. Richtig Bauen mit Porenbeton. Stuttgart, 2003. 268 p.
10. Herman H. Advances in Thermal Spray Technology // Advanced Materials & Processes. 1990. No 4. pp. 41-45.
11. Grinfeld G.I. *Inzhenernyye resheniya obespecheniya energoef-fektivnosti zdaniy. Otdelka kladki iz avtoklavного betona* [Engineering solutions for energy efficiency of buildings. Finish laying of AAC] : Proc. Benefit. Saint Petersburg : Publishing House of Polytechnic University, 2011. 130 p. (rus)

*Статья поступила в редколлегию 13.11.2015*