

УДК 691.002

В.А.Парута к.т.н., Е.В. Брынзин к.т.н., О.П. Гнып к.т.н., Л.И.Лавренюк к.т.н.,

БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ

Недоліком штукатурних покриттів є те, що їм всім, в тій чи іншій мірі, властиве тріщиноутворення, яке призводить до зниження довговічності стінової конструкції. Це відбувається через те, що при проектуванні властивостей і складу, не в повній мірі враховують його роботу в складі стінової конструкції. У статті сформульовані базові принципи та критерії якими слід керуватися при проектуванні властивостей і складів штукатурних розчинів, наведені компоненти за допомогою яких вирішувалася дана проблема і як результат, зниження напружень в системі «кладка-штукатурні покриття» і підвищення тріщиностійкості штукатурного покриття.

Ключові слова: стінова конструкція, штукатурні покриття, базові принципи проектування властивостей і складу штукатурних розчинів.

Недостатком применяемых штукатурных покрытий является то, что им всем, в той или иной мере, присуще трещинообразование, которое приводит к снижению долговечности стеновой конструкции. Это происходит из-за того, что при проектировании свойств и состава, не в полной мере учитывают его работу в составе стеновой конструкции. В статье сформулированы базовые принципы и критерии которыми следует руководствоваться при проектировании свойств и составов штукатурных растворов, приведены компоненты при помощи которых решалась данная проблема и как результат, снижение напряжений в системе «кладка-штукатурное покрытие» и повышение трещиностойкости штукатурного покрытия.

Ключевые слова: стеновая конструкция, штукатурные покрытия, базовые принципы проектирования свойств и составов штукатурных растворов.

The lack of the applied clout coverages is that by it all, in one or another measure, inherently treschinoobrazovanie, which privo-dit to the decline of longevity of a wall construction. It takes place because at planning of properties and composition, not to a full degree take into account his work in composition a wall construction.

In the article base principles and criteria are formulated which it is necessary to follow at planning of properties and compositions of clout solutions, komponenty is resulted through which this problem decided and as a result, decline of tensions in the system «laying-clout coverage» and increase of treschinostoykosti of clout coverage.

Keywords: wall construction, clout coverages, proek-tirovanie compositions of clout solutions.

Введение. Оштукатуривание стен из автоклавного газобетона, с последующей отделкой, является эффективным технико-экономическим решением. Недостатком применяемых составов является то, что им всем, в той или иной мере, присуще трещинообразование, которое приводит к разрушению штукатурного покрытия, снижению долговечности стеновой конструкции [1-5].

Это происходит из-за того, что при проектировании состава штукатурного покрытия, не в полной мере учитывают его работу в составе стеновой конструкции. Нормативные требования, предъявляемые к ним противоречивы и, по нашему мнению, не всегда обоснованы. Так прочность при сжатии должна составлять 1,5-7,5 МПа (Россия), 2,5МПа (Украина) и 10 МПа (Германия), прочность на изгиб 1–1,25МПа (Украина) и 2 МПа (Россия), адгезия к кладке 0,15 МПа (Россия) и 0,5МПа (Украина).

Цель. Штукатурный раствор, для любых стеновых материалов, следует рассматривать как покрытие, связанное с кладкой через контактную зону. Проектирование составов и свойств необходимо вести с учетом процессов протекающих при твердении штукатурного покрытия и 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. Необходимо обеспечить снижение напряжений в штукатурном покрытии и контактной зоне до величин, меньших, чем разрушающее напряжение.

Разрушение штукатурного покрытия связано с образованием, накоплением и развитием дефектов в структуре материала (микро- и макротрещин) которые образуются при нанесении, твердении и эксплуатации. 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 [8,9, 10].

Происходит усадка штукатурного раствора (0,3...5 мм/м) [1], а так как газобетонная кладка сдерживает эти деформации, то возникают напряжения в штукатурном покрытии (δ) (табл.1), которые превышают его предел прочности при растяжении:

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

где: E и μ - модуль упругости и коэффициент Пуассона штукатурного покрытия; ν -коэффициент упругопластических деформаций раствора при растяжении; $\Delta \varepsilon$ - разность деформаций штукатурки и газобетонного основания [5].

Таблица 1

Напряжения в штукатурном покрытии от усадочных деформаций

Марка раствора	E, МПа	$\Delta \varepsilon$, мм/м	μ	ν	σ , Мпа	R _t , МПа	R _p , Мпа
25	4·10 ³	0,3...0,8	0,3	0,5	0,85-2,28	0,3	0,4
50	6·10 ³	0,3...0,8	0,3	0,5	1,28-3,42	0,35	0,5
100	14·10 ³	0,3...0,8	0,3	0,5	3,0-8,0	0,4	0,6

R_t - расчетное сопротивление растяжению для расчета по образованию трещин,

R_p - расчетное разрушающие напряжение.

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.).

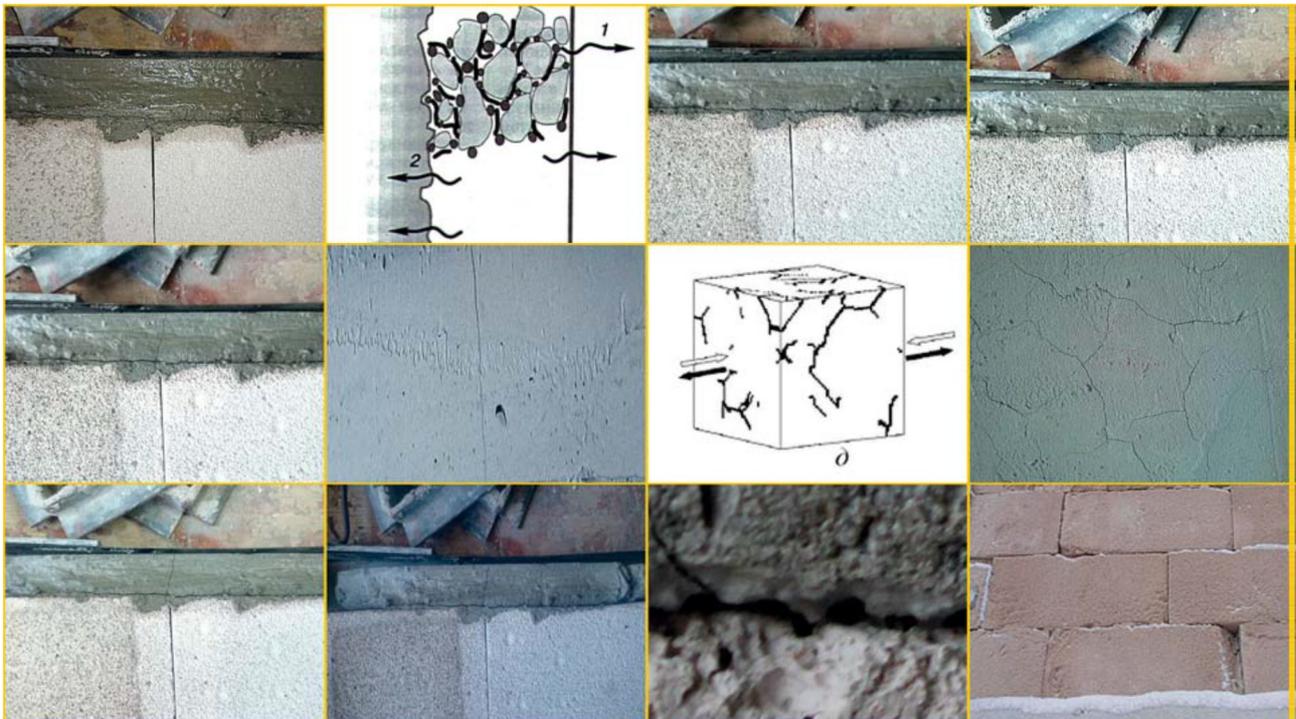


Рис. 1. Трещинообразование в системе «газобетонное основание – штукатурное покрытие»

При эксплуатации стенная конструкция испытывает тепло-влажностные деформации под воздействием внешней среды, что также создает растягивающие напряжения в штукатурном покрытии и контактной зоне с кладкой (Рис.2).

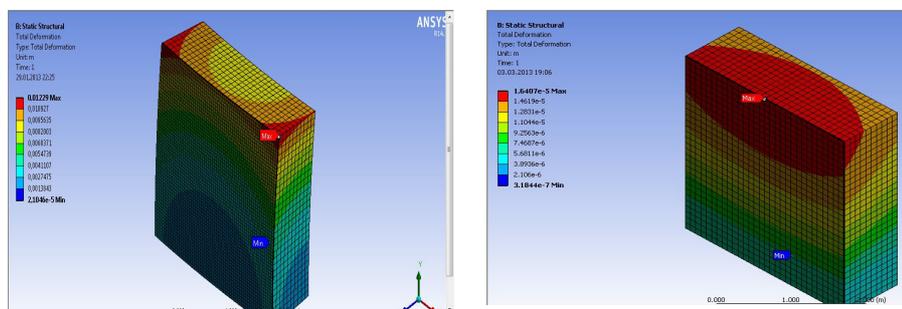


Рис. 2. Изополя деформаций ограждающей конструкции

Градиент деформаций и напряжений наблюдается как в кладке (рис.3а), так и в штукатурном покрытии (рис.3б), а из-за разности коэффициентов тем-

пературного расширения возникают деформации и напряжения сдвига (τ) в контактной зоне «кладка – штукатурное покрытие» (рис.3).

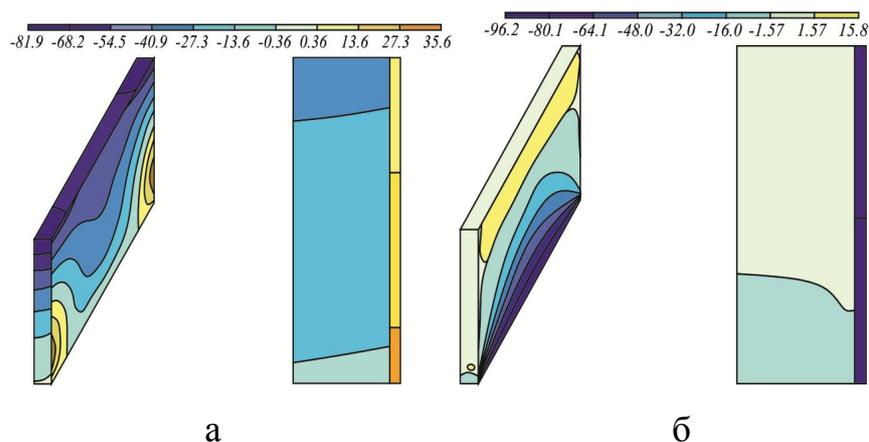


Рис. 3. Изополя деформаций (а) и напряжений (б) в стеновой конструкции и штукатурном покрытии

Сдвигающее напряжение (τ) определяется по формуле (2):

$$\tau = [\Delta T_1 \alpha_1 - \Delta T_2 \alpha_2] / \left[\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right] \quad (2)$$

где: τ - напряжение сдвига от температурных деформаций, кгс/см²; $\Delta T_1, \Delta T_2$ – разность температуры 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;

Это приводит к зарождению новых микротрещин в штукатурном покрытии, развитию макротрещин и магистральных трещин в нем и в контактной зоне между газобетонной кладкой и штукатурным покрытием, отслоению штукатурного покрытия и разрушению стеновой конструкции.

Для того, чтобы избежать протекания, вышеописанных деструктивных процессов, образования дефектной структуры штукатурного раствора и контактной зоны его с газобетонным основанием, необходима целенаправленная модификация материала. Поставленная цель обеспечивается применением: 1. Цементно-известкового вяжущего. 2. Заполнителей с низким модулем упругости (карбонатного, из газобетона, керамзитового, перлитового, вермику-

литового и др.). 3.Эфиры целлюлозы. 4.Редиспергируемых полимерных порошков. 5.Микродисперсного армирования (полимерная фибра).

Их применение позволит:- увеличить водоудерживающую способность и обеспечить оптимальные условия для гидратации вяжущего, улучшить тиксотропные свойства растворной смеси;

-уменьшить величину усадочных деформаций и напряжений, при нанесении и твердении, количество усадочных трещин в штукатурном покрытии;

-увеличить растяжимость (деформативность) затвердевшего штукатурного покрытия;

-увеличить трещиностойкость штукатурного покрытия (за счет релаксации напряжений как при твердении так и при эксплуатации), замедлить развитие трещин образовавшихся на стадии нанесения и твердения;

- уменьшить внутрискруктурные напряжения и снизить вероятность образования дефектов структуры на стадии эксплуатации;

-обеспечить формирование достаточно эластичной, прочной и трещиностойкой контактной зоны штукатурного покрытия и газобетонного основания, обеспечивающую совместную работу системы без разрушения;

-увеличить долговечность штукатурного покрытия и стеной конструкции;

При проектировании штукатурных растворов необходимо ориентироваться на определенные критерии. Штукатурное покрытие необходимо рассчитывать на прочность и образование трещин при растяжении и изгибе, а также на отрыв от кладки. При этом необходимо учитывать усилия, возникающие от воздействия усадки, ветровых, температурных и влажностных нагрузок, собственного веса:

1.Напряжения в покрытии (σ), из-за его усадки и разницы деформаций с кладкой ($\Delta\varepsilon$):

$$\sigma = \Delta\varepsilon \cdot \nu \cdot E / 1 - \mu \quad (3)$$

должны быть меньше расчетного напряжения на растяжение по образованию трещин и разрушающего напряжения. 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.

2. Проверку прочности необходимо производить по величинам напряжений, полученным в результате расчета напряжений в покрытии от собственных деформаций и деформаций стеновой конструкции при эксплуатации:

$$\frac{N_k}{A_k \cdot R_p} \pm \frac{M_k}{W_k \cdot R_u} \leq 1 \quad (4)$$

где N_k – продольная сила, кН; M_k – изгибающий момент, кН·м; A_k – площадь элемента, м²; W_k – момент сопротивления элемента, м³; R_p – кратковременный предел прочности при растяжении штукатурного покрытия, кПа; R_u – кратковременный предел прочности штукатурного покрытия на изгиб, кПа.

3. Величина напряжений в штукатурном покрытии при деформации кладки:

$$\sigma = 2 \cdot (1 - \mu) \cdot h \cdot E \cdot \varepsilon \quad (5)$$

должны быть меньше расчетного напряжения на растяжение по образованию трещин и разрушающего напряжения.

4. Проверка прочности сцепления штукатурного слоя с кладкой выполняется по формуле:

$$\sigma = \frac{F_k}{A_k} \leq R_a \quad (6)$$

где F_k – реакция в податливой связи метода конечных элементов, кН; A_k – площадь элемента, м²; R_a – расчетный предел прочности сцепления штукатурного покрытия с газобетонным основанием, кПа.

5. Сдвигающее напряжение (τ) должно быть меньше прочности сцепления покрытия с кладкой и определяется по формуле (2).

Такой материал будет иметь большую деформативность, меньший модуль упругости, что приведет к повышению его трещиностойкости. Если например в цементной штукатурке, с пределом прочности при сжатии 5-10 МПа, при растяжении 1,5 МПа, деформациями усадки 0,7 мм/м и средним модулем упругости 15 000 МПа (10 000-30000 МПа), растягивающие напряжения в среднем составляют: $\delta = 15\,000 \cdot 0,7 = 10,5$ МПа (7-21 МПа). Что в 5 - 42 раза, превышает предел прочности штукатурки при растяжении.

То в полимерцементном штукатурном покрытии с деформацией (0,3-0,4мм/м), модулем упругости составит 500-2500 МПа, растягивающие напряжения составят 0,2-1,0 МПа, что в 1,5-7,5 раз меньше предела прочности штукатурки при растяжении. Учитывая, что растяжимость полимерцементного раствора в 6-10 раз больше чем у немодифицированного, снижение модуля упругости позволит уменьшить напряжения и трещинообразование в штукатурном покрытии.

Уменьшение модуля упругости штукатурного покрытия приведет к уменьшению напряжений сдвига (τ), которые определяют развитие трещины в контактной зоне с газобетонным основанием. Сдвигающее напряжение (τ) рассчитывается по формуле (2).

Если при модуле упругости газобетона D400 - 1250-1734 МПа, цементной штукатурки 15000 МПа, $\alpha_1 = 8 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, известкового раствора (1:4) $\alpha_2 = 9 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$; цементного раствора (1:4) $\alpha_2 = 10,4 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, сложного раствора $\alpha_2 = 6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ [39,248]; $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 50^{\circ}\text{C}$ напряжения сдвига составят: для обычных растворов 0,14Мпа, то для модифицированных 0,08Мпа.

Как мы уже отмечали, величины напряжений в штукатурном покрытии зависят от свойств материала кладки и штукатурного покрытия. При помощи программы «Лира» и двухфакторного плана, был произведен расчет, величин напряжений в штукатурном покрытии при широкой комбинации вариантов этих показателей. При минимальных прочности, средней плотности и модуле упругости (4а,б) и при максимальных прочности, средней плотности и модуле упругости (4в,г).

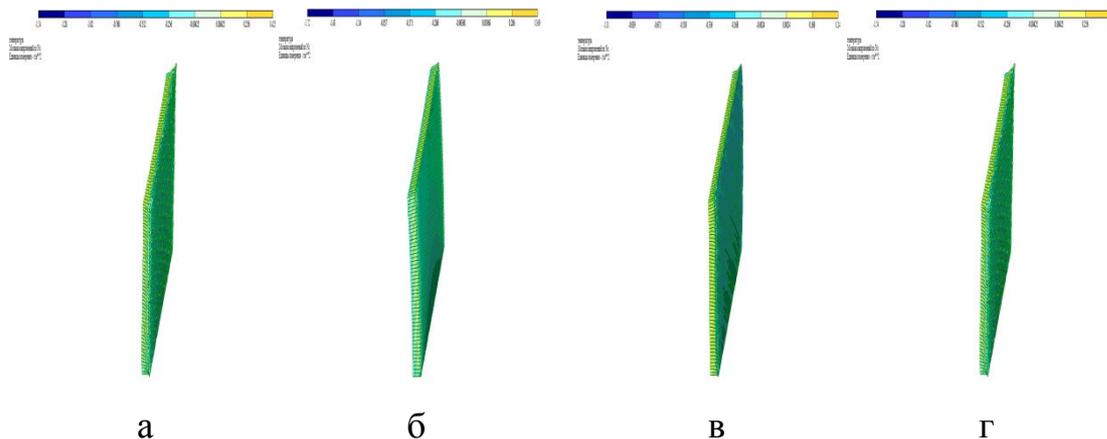


Рис. 4 Напряжения в штукатурном покрытии при различных свойствах кладки и штукатурного покрытия

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.5а). 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 также существенно уменьшается (рис.5б).

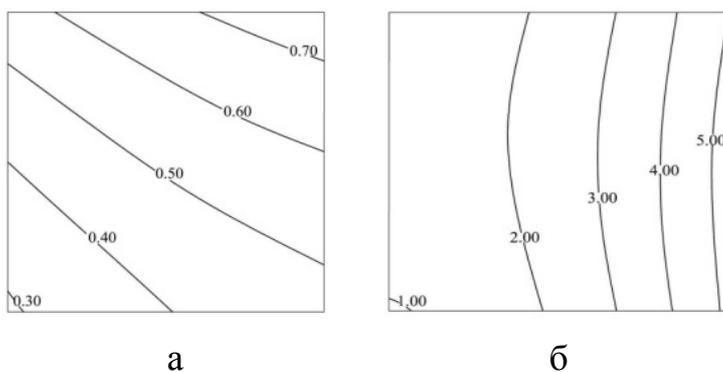


Рис. 5 Напряжения в штукатурном покрытии из-за температурных деформаций при минусовых (а) и плюсовых температурах (б)

Выводы

Нормативные требования, предъявляемые к штукатурным растворам для стен из автоклавного газобетона противоречивы и, по нашему мнению, не всегда обоснованы. Необходимы критерии для назначения свойств материала (прочность при сжатии и при изгибе, адгезия и др.), должны быть напряжения, возникающие в штукатурном покрытии при твердении и эксплуатации.

Штукатурный 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 примене-

ние должно обеспечить снижение напряжений в штукатурном покрытии и контактной зоне до величин, меньших, чем, разрушающие напряжения.

В статье приведены компоненты при помощи которых решалась данная проблема и как результат, снижение напряжений в системе «кладка-штукатурное покрытие» и повышение трещиностойкости штукатурного покрытия.

Литература

1. Парута В.А., Особенности технологии возведения и эксплуатации наружных стен из автоклавного газобетона / Парута В.А., Семина Ю.А., Столяр Е.А., Устенко А.В., Брынзин Е.В. // Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века.- 2012.- №12.- С. 35-39. Библиогр.:11 назв.

2. Грану Э. Предупреждение дефектов в строительных конструкциях/М. Стройиздат,1980.- 217 с.:ил.-Библиогр.:с.205-217

3. Сажнева Н.Н., Сажнев Н.П., Урецкая Е.А. Защитные системы для отделки ячеистого бетона пониженной плотности / Сажнева Н.Н., Сажнев Н.П., Урецкая Е.А. // Строительные материалы. 2009. -№1. С. 17-19. Библиогр.:8 назв.

4. Халимов Р.К. Исследование совместной работы строительных материалов в составе современных многослойных теплоэффективных наружных стен зданий: дис....канд. технич. наук, Специальность: 05,23.05 - Строительные материалы и изделия; Уфа., 2007. -178с.

5. Я. Паплавскис Требования к штукатурным составам для наружной отделки стен из ячеистых бетонов / Я. Паплавскис, А. Фрош// Проблемы эксплуатационной надежности наружных стен на основе автоклавных газобетонных блоков и возможности их защиты от увлажнения. Штукатурные составы для наружной отделки стен из газобетона. - СПб.: Изд-во. Политехнического ун-та, 2010, - С.10-15. Библиогр.:7 назв.

6. Struble L. Microstructure and Fracture at the Cement Paste-Aggregate Interface. Микроструктура и трещинообразование на поверхности раздела между

цементным камнем и заполнителем / Struble L. //Bond. Cementitious Compos.: Symp., Boston, Mass.1987. -Pittsburgh (Pa), -1988. -pp.11-20.

7. Галкин С.Л., Сажнев Н.П., Соколовский Л.В., Сажнева Н.Н. «Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика», "Стринко", Минск, 2006., 448с.

8.Powers T.S. A Hypothesis on carbonation shrinkage. Journal of Portland Cement Association. –Research Development Laboratoru. 1962, v.4, No.2.pp.26-31.

9. Vasicek J. Trvanlivost a odolnost autoklavovanych porovitych betonu pri posobeni susnych vnejsich jevu. –Stavivo, 1965. № 6.,pp.24-28.