

Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,
 Погорелова И.А., канд. техн. наук,
 Сулейманов К.А., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОБОБЩЕННЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ГАЗОБЕТОНОВ НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

ludmilasuleimanova@yandex.ru

Качественный и количественный анализ структуры газобетона на композиционном вяжущем показал высокое качество структуры, увеличение общего объема пористости преимущественно за счет капиллярно-газовых и мембранных пор при отсутствии пор воздухововлечения и сегментных, в сравнении с газобетоном на портландцементе. Это свидетельствует о значимости капиллярных сил при формировании поровой структуры газобетона на композиционных вяжущих.

Ключевые слова: поровая структура, пора, межпоровая перегородка, газобетон неавтоклавно твердения, композиционное вяжущее

Развиты представления о типах ячеистых структур в зависимости от средней плотности и установлены границы для ячеистых бетонов марок по средней плотности до $D300$

с полиэдрическими газовыми порами, от $D300$ до $D700$ с шарово-полиэдрическими газовыми порами и свыше $D700$ с шаровыми газовыми порами (рис. 1).

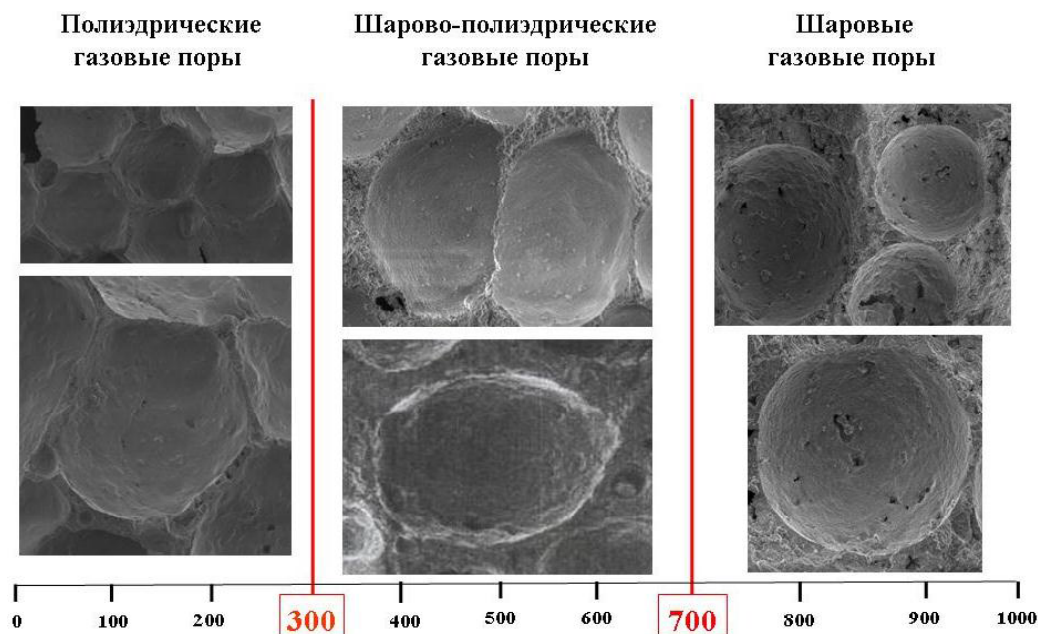


Рис. 1. Типы ячеистых структур в зависимости от средней плотности

Ячеистый бетон с низким газосодержанием при $D > 700$ следует рассматривать с шаровой структурой. Увеличение газосодержания в смеси и деформация сферических газовых пор свидетельствуют о формировании шарово-полиэдрической структуры ячеистого бетона при марках по средней плотности от $D300$ до $D700$. Когда радиус кривизны газовых пор превышает длину канала и стремится к длине полиэдра, формируется полиэдрическая структура пор в ячеистых бетонах с $D < 300$ [1].

Перспективы технологии газобетона связаны со снижением максимального и среднего размера ячеистых пор, а также

приемами по устранению пор воздухововлечения и сегментных пор. Уменьшение размера пор отразится в снижении числа Бонда и повышает значимость капиллярных сил при формировании пористой структуры газобетона.

Важным показателем, характеризующим поровую структуру, является толщина межпоровых перегородок ячеистого бетона которая объединяет три параметра: толщину перегородки (величину сечения в наиболее тонкой части), равномерность сечения по периметру поры (неоднородность сечения в пределах одной поры) и неоднородность толщин

перегородок в объеме материала. Толщина перегородок зависит от величины пористости, плотности упаковки твердых частиц и среднего размера частиц компонентов тепло-

изоляционного материала. В конечном счете, исходные компоненты и способ поризации определяют среднюю толщину межпоровой перегородки (рис. 2, 3) [1].

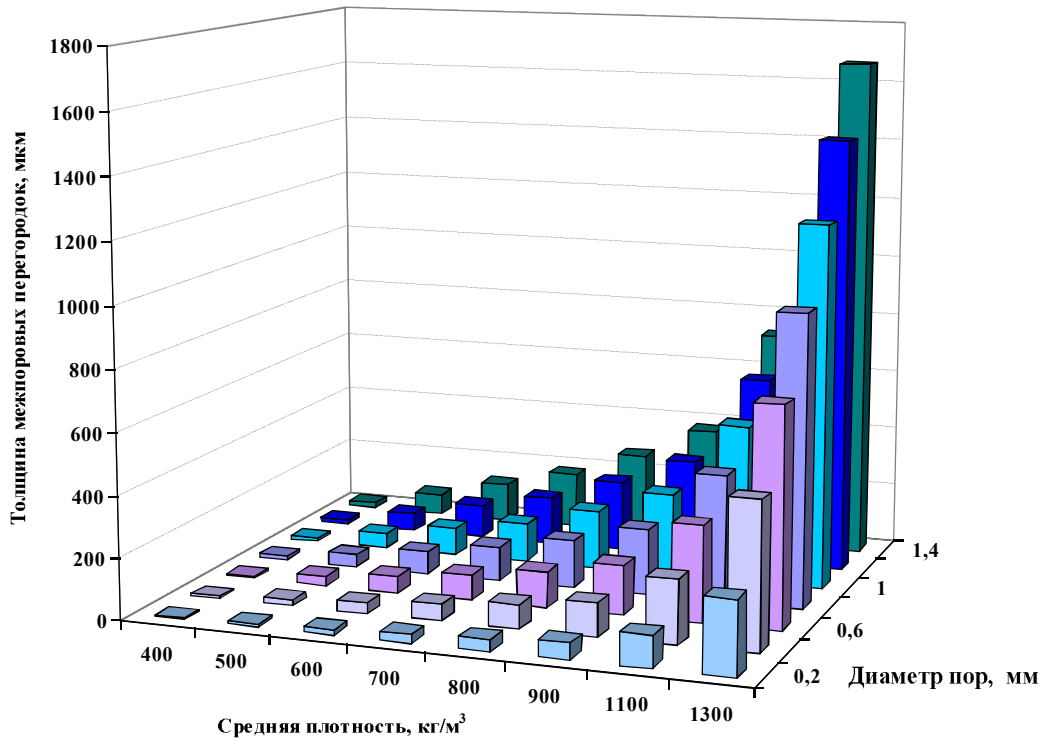


Рис. 2. Толщина межпоровых перегородок для недеформированных пор различного диаметра

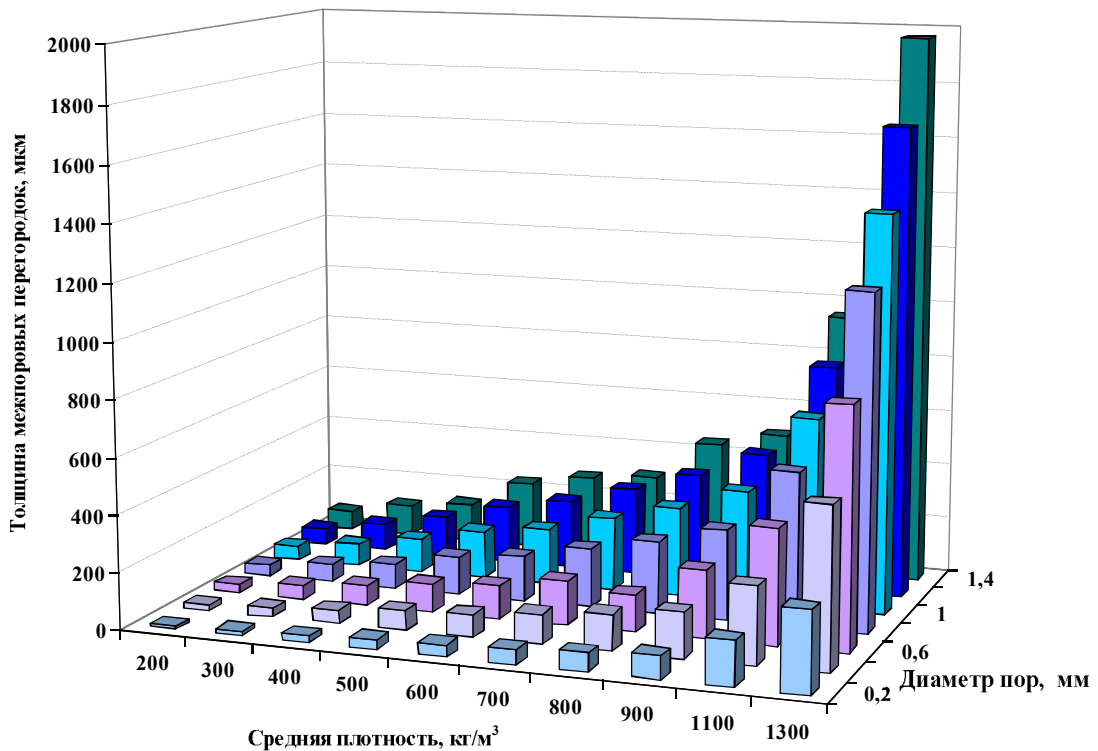


Рис. 3. Толщина межпоровых перегородок для пор, деформированных в правильные многогранники

Равномерность сечения перегородки по периметру пор зависит от характера упаковки пор в объеме материала, степени и вида

деформации пор, полидисперсности распределения пор по размерам. Этот параметр не поддается прямому регулированию.

С увеличением объема пористости равномерность сечения перегородок повышается.

На неоднородность толщины перегородок в объеме материала влияют, в первую очередь, равномерность распределения порообразователя в исходной смеси, однородность температурного поля и реологических свойств во всем объеме материала. Наименьшие колебания толщины перегородок характерны для теплоизоляционных пластмасс, наибольшие – для ячеистых бетонов. Неоднородность целесообразно оценивать средним квадратическим отклонением толщины перегородки в наиболее тонком сечении от среднего значения толщины всех перегородок $\sigma \{P\}$ при коэффициентом вариации этого параметра V_0^n . Для теплоизоляционного ячеистого бетона $\sigma \{\delta\}$ колеблется от 0,05 до 0,16 мм. В принципе, чем выше пористость, больше диаметр пор, а также меньше воды затворения (B/T) в составе минеральных материалов, тем ниже абсолютные значения $\sigma \{\delta\}$.

Реально достижимые толщины перегородок и неоднородности в объеме материала составляют для полимерных теплоизоляционных изделий с ячеистой структурой соответственно 0,006...0,01 и $1...2 \cdot 10^{-3}$ мм, для изделий из неорганических материалов – 0,09...0,12 и 0,04...0,07 мм.

На величину пористости влияет толщина межпоровых перегородок. Средняя толщина межпоровой перегородки обратно пропорциональна пористости и зависит от размера пор.

Минимальная ее толщина стремится к минимальному размеру частиц цемента. Чем меньше размер частиц цемента, тем меньше толщина межпоровой перегородки. В нашем случае (по расчету [2]), при пористости $\epsilon > 0,74$ величина межпоровой перегородки вычисляется по формуле:

$$\delta_{\Pi} = \left(\sqrt[3]{\frac{1}{\epsilon}} - 1 \right) \cdot d = \left(\sqrt[3]{\frac{1}{0,75484}} - 1 \right) \cdot 9,57 = 0,963 \text{ мкм}$$

По методике, разработанной Г.И. Горчаковым, толщину межпоровой перегородки можно определить из условия:

$$\delta = \frac{V_{\text{цк}}}{S_{\text{уд}}},$$

где $V_{\text{цк}}$ – объем цементного камня в образце; $S_{\text{уд}}$ – удельная поверхность воздушных пор образца.

$$\delta = \frac{V_{\text{цк}}}{n \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{V_{\text{цк}}}{\frac{P \cdot V_M}{\pi \cdot d^3 / 6} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{V_{\text{цк}} \cdot d}{6 \cdot P \cdot V_M}$$

где P – общая пористость материала, V_M – объем материала в естественном состоянии; n – количество элементарных пор на единице площади поперечного сечения; d – средний диаметр элементарных пор.

Для дальнейших расчетов принимаем объем материала равным единице, а пористость определим по формуле:

$$P = 1 - \frac{D}{\rho_{\text{цк}}},$$

$$\rho_{\text{цк}} = \frac{1,15 \cdot \text{Ц}}{\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{B}{\rho_{\text{в}}}} = \frac{1,15 \cdot \rho_{\text{ц}}}{1 + \frac{B}{\text{Ц}} \cdot \frac{\rho_{\text{ц}}}{\rho_{\text{в}}}}$$

$$= \frac{1,15 \cdot 3150}{1 + \frac{152}{380} \cdot \frac{3150}{1000}} = 1602,9 \text{ кг/м}^3$$

где D – плотность ячеистого бетона, $\rho_{\text{цк}}$ – плотность цементного камня.

При $V_M=1$, $V_{\text{цк}}=D/\rho_{\text{цк}}$.

Таким образом, толщина межпоровой перегородки ячеистого бетона $D400$ ($B/\text{Ц} = 0,4$):

$$\delta = \frac{D \cdot d / \rho_{\text{цк}}}{6 \cdot (1 - D / \rho_{\text{цк}})} = \frac{400 \cdot 0,18 / 1602,9}{6 \cdot \left(1 - \frac{400}{1602,9} \right)} = 0,010 \text{ мм} = 10 \text{ мкм}$$

Толщина межпоровых перегородок разработанных ячеистых бетонов на композиционных вяжущих представлена в табл. 1.

Таблица 1

Толщина межпоровых перегородок ячеистого бетона на композиционных вяжущих

Толщина межпоровой перегородки ячеистого бетона, мкм, при марке по средней плотности (в зависимости от В/Ц)		
D300	D400	D500
7... 16	10... 24	16... 34

Обобщенный анализ характера поровой структуры газобетонов неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих в сравнении с газобетоном на портландцементе (рис. 4) свидетельствует о следующем. Газобетон на композиционном вяжущем с маркой по средней плотности $D200...D500$ характеризуется равномерным распределением полидисперсных и малых по размеру, замкнутых, деформированных в правильные многогранники пор с глянцевой плотной внутренней поверхностью. Поры разделены тонкими межпоровыми перегородками, при

этом средняя толщина межпоровых перегородок составила 24 мкм при диапазоне варьирования от 7... 10 до 40... 50 мкм.

Структура газобетона неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих –

высокоорганизованная, более совершенная, с четким прослеживанием закономерного роста кристаллов новообразований на границе раздела фаз (рис. 5).

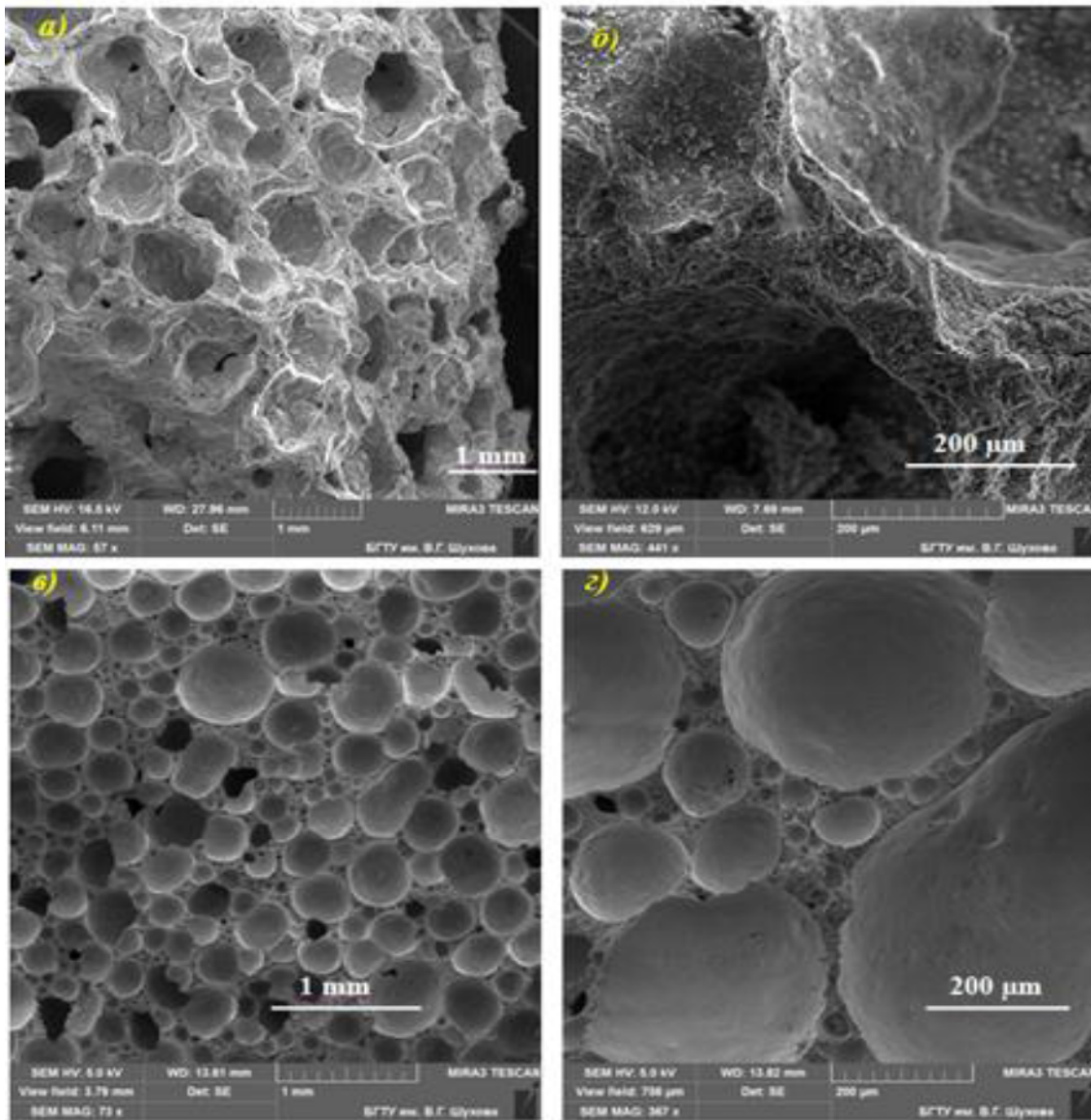


Рис. 4. Пористая структура газобетона:
а, б – на портландцементе; в, г – на композиционном вяжущем

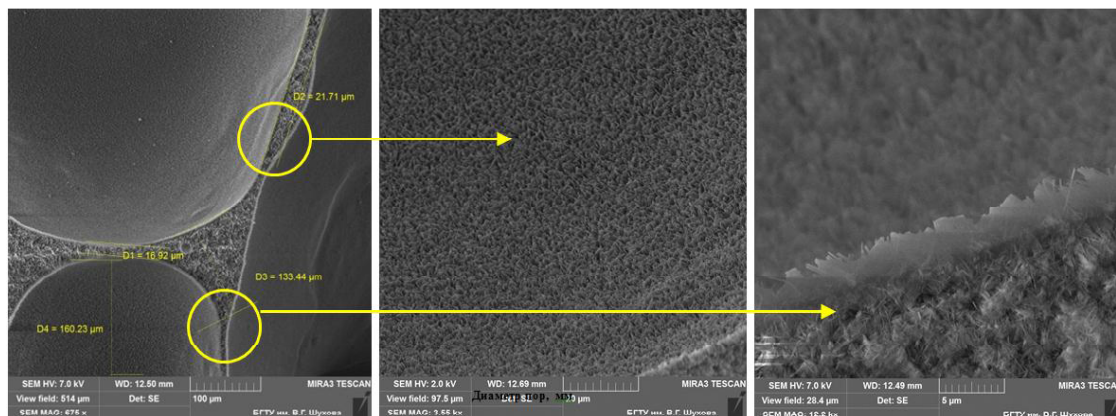


Рис. 5. Межпоровая перегородка газобетона на композиционном вяжущем

Таблица 2

Характеристика пор газобетона в зависимости от вида вяжущего

Газобетон неавтоклавно-го твердения	Характеристика пористости			
	общая пористость, %	средний диаметр пор, мм	размах варьирования, мм	среднеквадратичное отклонение
на цементе	61,2	0,94	2,8	0,257
на композиционном вяжущем	83	0,18	0,8	0,1

Создание микрооднородной межпоровой перегородки газобетона с равномерным распределением высокодисперсных продуктов гидратации композиционного вяжущего обеспечено гранулометрией вяжущего, а также морфологией и генезисом тонкодисперсных минеральных добавок.

Количественная оценка пористой структуры газобетона свидетельствует о предпочтительной пористости газобетона на композиционном вяжущем (табл. 2).

Качественный и количественный анализ структуры газобетона на композиционном вяжущем показал высокое качество структуры, увеличение общего объема пористости преимущественно за счет капиллярно-газовых

и мембранных пор при отсутствии пор захвата воздуха и сегментных, в сравнении с газобетоном на портландцементе. Это свидетельствует о значимости капиллярных сил при формировании поровой структуры газобетона на композиционных вяжущих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С. Газобетон неавтоклавно-го твердения на композиционных вяжущих. Белгород: КОНСТАНТА, 2013. 304 с.
2. Хархардин А.Н. Структурная топология дисперсных материалов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. Ч.1. 196 с.

Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Suleymanov K.A.

THE GENERALIZED ANALYSIS OF THE CHARACTER OF PORE STRUCTURE OF NON-AUTOCLAVED AERATED CONCRETES ON COMPOSITE BINDERS

Qualitative and quantitative analysis of the structure of aerated concrete on composite binder showed the high quality of the structure, the increase of porosity, mainly due to the capillary-gas and membranous pores, in the absence of segmental pores and pores of air entrainment, compared with gas concretes based on portland cement. This demonstrates the importance of capillary forces in the formation of the pore structure of aerated concrete on composite binders.

Key words: pore structure, pore, interpore partition, non-autoclaved aerated concrete, composite binders

Сулейманова Людмила Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru.

Погорелова Инна Александровна, кандидат технических наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сулейманов Кари Абдулаевич, студент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.