

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-8-15

Сулейманов К.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: karimsuleymanov@mail.ru

ПОРЫ ВОЗДУХОВОВЛЕЧЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ГАЗОБЕТОНА

Аннотация. Газобетон является одним из наиболее популярных строительных материалов, который обладает уникальными свойствами, такими как легкий вес, высокие звуко- и теплоизоляционные характеристики и показатели прочности. Однако его пористая структура может снижать его прочность и долговечность. В этой статье автором рассмотрены различные типы пор в газобетоне и их влияние на его свойства. Гелевые и капиллярные поры – это основные виды пор, которые образуются при производстве газобетона. Воздушные (газовые) поры образуются в результате химической реакции между газом и вяжущим веществом. Они также влияют на свойства газобетона, но в меньшей степени, чем гелевые и капиллярные. Однако поры воздухововлечения негативно влияют на качество газобетона. Данный вид пор образуется при заливке газобетонной смеси и представляют собой воздушные пузырьки, которые снижают прочность материала и ухудшают его теплоизоляционные свойства. Для улучшения качества газобетона и предотвращения образования пор воздухововлечения, необходимо оптимизировать технологии производства и контролировать процесс заливки. Также в статье рассмотрены особенности формообразования поры воздухововлечения и трансформации формы вовлеченного воздуха в поре воздухововлечения с формой перевернутой капли.

Ключевые слова: поры воздухововлечения, ячеистый бетон, газобетонная смесь, газовый пузырек, ячеистобетонная смесь, пористая структура.

Введение. Пористые материалы, такие как газобетон, представляют собой ключевой элемент в современном строительстве благодаря своей легкости, теплоизоляционным свойствам и прочности. Их структура, состоящая из множества пор различной формы и размеров, играет важную роль в обеспечении эксплуатационных характеристик. Однако, несмотря на широкое использование материалов и изделий из газобетона, вопросы, связанные с их пористой структурой, остаются малоизученными.

Пористая структура газобетона представляет собой комплексную сеть мельчайших пор, которые являются ключевыми элементами, определяющими его уникальные характеристики. Малоизученность пористой структуры газобетона обусловлена сложностью их анализа, особенно в масштабе наноструктур. Тем не менее, понимание размеров, форм и распределения пор является важным для оптимизации процессов производства и создания более совершенных материалов.

Поры – основной структурный элемент газобетона. При оценке влияния пористости на формирование технических характеристик ячеистобетонных изделий важно выявлять различные типы пор и определять их конкретные формы и размеры [1–3]. В особенности, в строительных материалах с использованием неорганических связующих важно выделять гелевую, капиллярную и газовую пористость [4–7].

Гелевая пористость связана с наличием геля в структуре материала. Гель образуется в результате химических реакций при процессе формирования газобетона. Эти поры имеют маленькие размеры и часто заполнены водой или другими жидкостями. Гелевая пористость играет важную роль в формировании внутренней структуры материала, влияя на его прочность, плотность и теплоизоляционные свойства. Капиллярная пористость обусловлена наличием микроскопических каналов, похожих на капилляры, которые возникают благодаря структуре материала, обеспечивая ему способность впитывать и удерживать влагу. Капиллярная пористость играет ключевую роль в регулировании влажности газобетона, его способности сохранять тепло и препятствовать проникновению воды и других жидкостей в материал. Газовые поры, как правило, заполнены газами, обычно воздухом. Газовые поры в газобетоне имеют различные размеры и формы, варьирующиеся от мельчайших до более крупных. Размер газовых пор существенно влияет на свойства материала: маленькие поры способствуют теплоизоляции, а более крупные могут влиять на прочность и легкость материала [8–11].

Гелевые поры составляют около 28 % объема цементного камня, а капиллярные поры – от 0 до 40 % в зависимости от водоцементного отношения и степени гидратации. Объем пор в бетоне, как характеристика его проницаемости, измеряют водопоглощением, которое обычно определяют высушиванием образца до постоянной

массы, насыщением водой и измерением увеличения массы в процентах к массе сухого образца. Высушивание при нормальной температуре неэффективно для удаления всей влаги, а высушиванием при высокой температуре можно удалить и часть связанной воды. Следовательно, водопоглощение не может служить критерием качества бетона, но большинство качественных бетонов имеет величину водопоглощения менее 10 %.

Изучение гелевой и капиллярной пористости позволяет формулировать основные принципы в контексте газобетона, в то время как анализ газовых пор позволяет классифицировать их и выявить, как размер пор влияет на образование структуры [12–14].

Поры воздухововлечения выделены в структуре газобетона в отдельный вид. Они представляют собой пространственные полости, размер которых колеблется от 2 до 30 мм и образуется в процессе заливки газобетонной смеси в формы. Эти поры являются дефектами структуры материала, и их формирование связано с технологическими процессами и условиями производства.

Исследование пористой структуры и пор воздухововлечения газобетона представляет значимый интерес в связи с несколькими аспектами. Прежде всего, это связано с поиском новых методов улучшения качества и характеристик газобетонных конструкций. Глубокое понимание пористой структуры может привести к разработке новых формул смесей и технологий производства,

направленных на улучшение прочности, теплоизоляции и долговечности материала. Кроме того, в контексте экологической устойчивости и энергоэффективности строительных материалов, изучение пористой структуры газобетона актуально для оптимизации энергопотребления в процессе производства и эксплуатации зданий.

Материалы и методы. Поры воздухововлечения образуются в текучих системах при смешении компонентов и замесах массы формы. Размер пор вдоль вертикальной оси в ячеистобетонных смесях составляет, как правило, величину от 2 до 30 мм. Воздух вовлекается в смесь в процессе перемешивания сырьевых компонентов и при заливке смеси в формы. Ни одна из конструкций сливных устройств между смесителем и формой не избавляет от воздухововлечения.

При литьевой технологии производства ячеистобетонных изделий эффект воздухововлечения меньше, чем при ударной [15]. Пузырьки воздухововлечения приобретают в смеси форму «перевернутой капли» (рис. 1) и стремятся переместиться к поверхности, но не выходят из смеси ни на ударном столе, ни при виброобработке. Перемещение пузырьков воздуха вверх прерывается за счет их блокировки мелкими водородными пузырьками и по причине формирования коагуляционной структуры в твердеющей смеси. Радиус лобовой части пузырьков (R_1) больше, чем донной (R_2) и значительно меньше, чем у соединяющей их боковой поверхности (R_3): $R_3 \gg R_1 \gg R_2$.

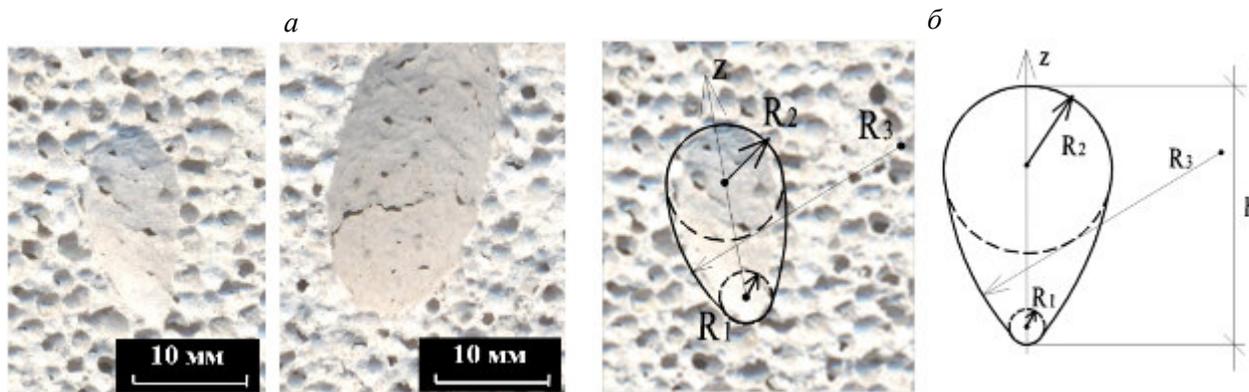


Рис. 1. Поры воздухововлечения:
а – в срезе по ячеистому бетону; б – форма пор

Крупные поры воздухововлечения являются существенными дефектами в структуре ячеистого бетона, исключение которых имеет критическое значение. Формирование таких пор приводит к нарушению целостности и равномерности внутренней структуры материала, что снижает его прочность и теплоизоляционные свойства. Поэтому важно избегать образования крупных пор воздухововлечения в процессе производства ячеистого бетона.

Определение статуса пор воздухововлечения как отличительной черты материала позволяет значительно расширить наши знания о формировании и организации ячеистой структуры. Это включает в себя не только выявление наличия крупных пор, но и анализ их распределения, формы и влияния на общую структуру материала. Углубленное изучение статуса этих пор позволяет разрабатывать более эффективные ме-

тоды контроля качества при производстве ячеистого бетона и улучшать технологии его производства для предотвращения образования дефектов, что в свою очередь способствует повышению его надежности и долговечности.

При производстве газобетона залитая в формы газобетонная смесь находится в турбулентном режиме до 10 секунд. Завершив перемещение и заняв горизонтальное положение в форме, смесь начинает подниматься вверх за счет протекающих физико-химических процессов газообразования. Важно отметить, что наблюдения показывают отсутствие видимых перемещений на бугристой поверхности. Эта бугристость, возникающая в начальный момент исходного турбулентного состояния смеси, почти не меняется до момента резки массива. Возвышения, выраженные на поверхности и достигающие высоты до 3 мм, объясняются наличием воздуха, вовлеченного в газобетонную смесь. Данные возвышения неизменны и сохраняют свою форму в течение времени, пока смесь не достигнет этапа резки массива. Такое поведение газобетонной смеси связано с процессами газообразования, увлека-

ющими воздух и формирующими бугры на поверхности. Данный этап перемещения смеси в форме является важным, так как он определяет структуру и характеристики готового ячеистого бетона. Важно отметить, что воздушный пузырь, который формирует бугорок на поверхности, четко наблюдается при разделении готового блока на срез. Это связано с процессом образования пор воздухововлечения и их влиянием на формирование структуры материала. Если после формирования массива в камере предварительного твердения проколоть бугорок на поверхности, то образуется углубление, или лунка. Это позволяет увидеть, как пора воздухововлечения располагается внутри готового блока. Визуальное наблюдение за поверхностью и фотосъемка показывают, что поры воздухововлечения не перемещаются. Пузырек, находящийся у поверхности, не прорывает ячеистобетонную смесь и не вызывает лопания, как это происходит с порами воздухововлечения в воде.

Поры воздухововлечения в газобетонных блоках в реальном масштабе представлены на рисунке 2.

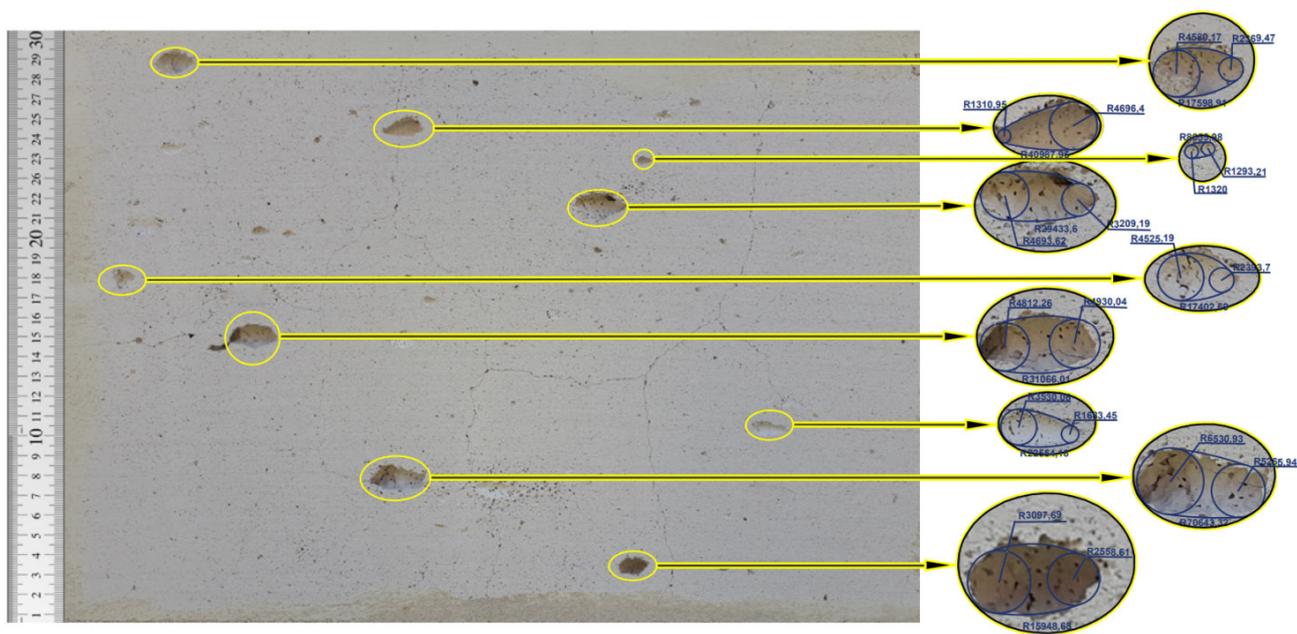


Рис. 2. Поры воздухововлечения в газобетонных блоках

Поры имеют три радиуса кривизны R_1 , R_2 , и R_3 . Размер пор зависит также от расстояния между центрами полусфер с R_1 и R_2 .

Результаты замеров 100 образцов пор воздухововлечения в срезах ячеистого бетона позволил выделить мелкие (до 50 мм/м^3), средние (от 50 до 500 мм/м^3) и крупные поры (500 мм/м^3 и выше), а также характеристику равных по объему

сферических пор. Характер распределения пор по их объему представлен на рисунке 3.

Рассмотрен газовый пузырек радиусом $R_0 = 10 \text{ мм}$ в ячеистобетонной смеси. В начальный момент времени после заливки смеси в форму пузырек имеет сферический вид и расположен на глубине $L = 100 \text{ мм}$ от поверхности смеси (рис. 4, а).

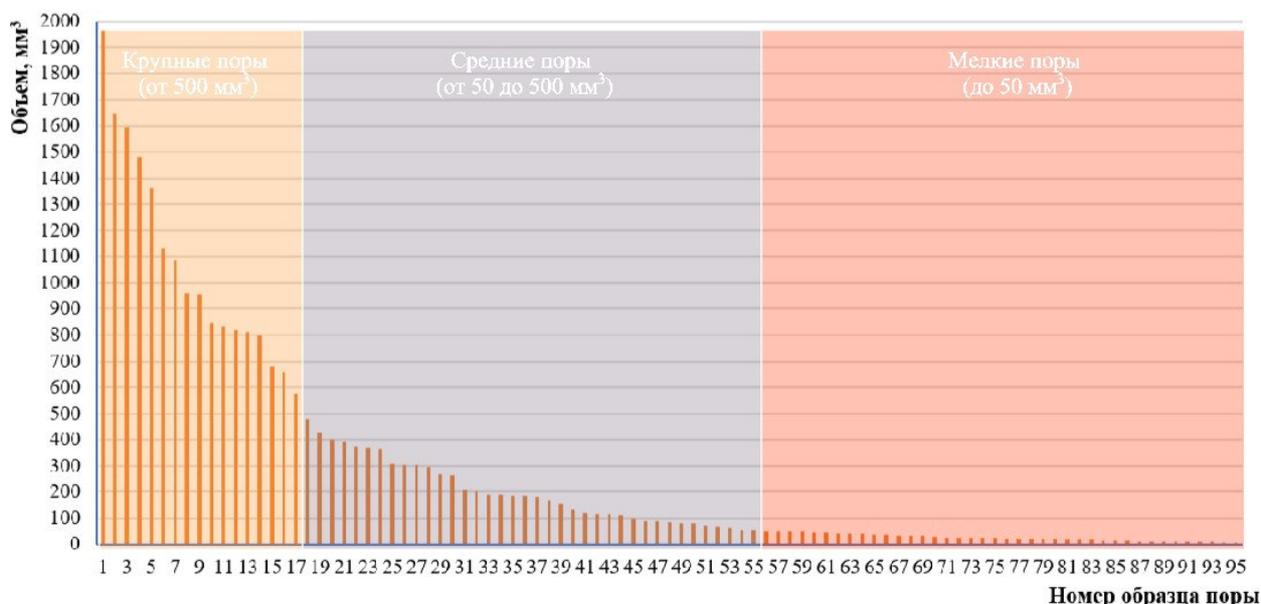


Рис. 3. Распределение пор воздухововлечения по объему

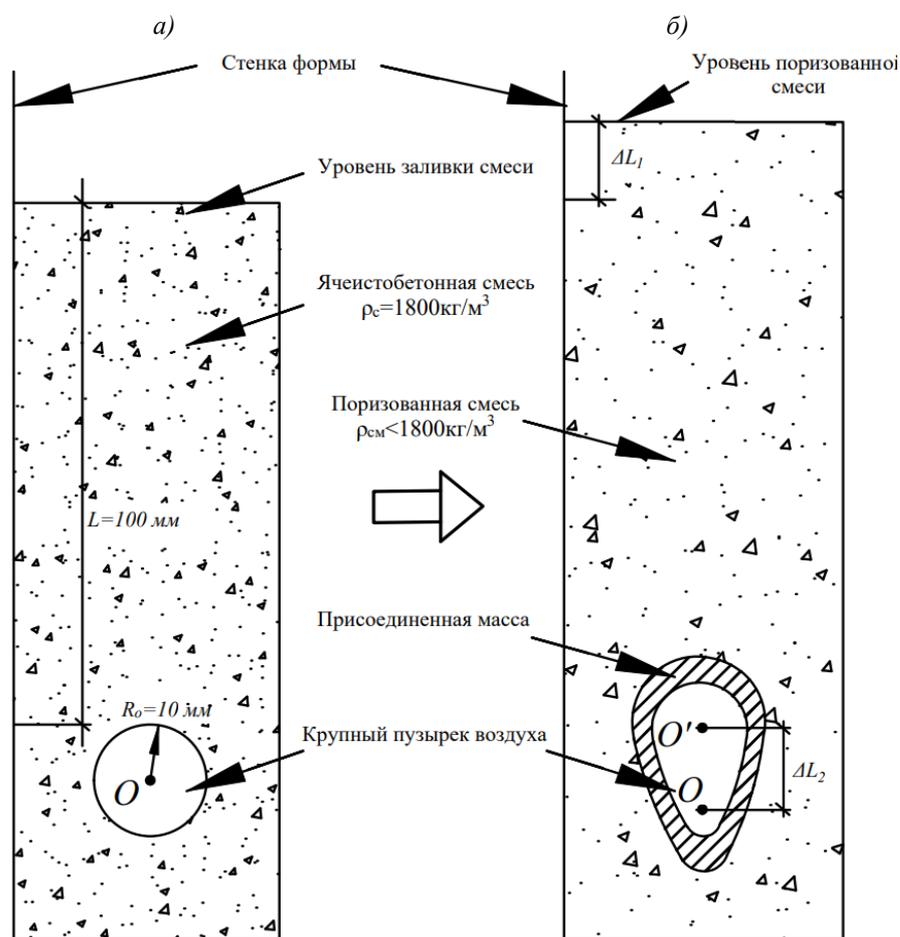


Рис. 4. Схема преобразования формы пор воздухововлечения в ячеистобетонной смеси:

a – гипотетический начальный момент; *б* – энергетически предпочтительное состояние

Основная часть. Потенциальная энергия газового пузырька обуславливает выталкивающую силу из-за различий плотностей воздуха ($\rho_B = 1,29 \text{ кг/м}^3$) и смеси ($\rho_C = 1800 \text{ кг/м}^3$). Так как $\rho_C \gg \rho_B$ архимедова сила:

$$F_a = \frac{4}{3} \pi R_0^3 \rho_C \quad (1)$$

Предположим, что рассматриваемая пора воздухововлечения сместится со своего первоначального положения к уровню заливки смеси, преодолев расстояние L . Смещение поры воздухововлечения с глубины к поверхности уменьшит потенциальную энергию пузырька:

$$\Delta E_a = -\frac{4}{3} \pi R_0^3 \rho_C g L. \quad (2)$$

Величина границы раздела фаз между смесью и воздухом в пузырьке определяется площадью поверхности пузырька. Поверхность раздела фаз дает вклад в потенциальную энергию пузырька:

$$E_{\phi} = \sigma \cdot S, \quad (3)$$

где σ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз воздух-ячеистобетонная смесь, энергия единицы площади, поверхности; S – площадь поверхности.

Кривизна поверхности вносит вклад в энергию пор воздуха в полости за счет избыточного давления у искривленной поверхности. Лапласовское давление в поре воздуха определяется по формуле:

$$P_{л} = \frac{2\sigma}{R_0}. \quad (4)$$

$$E_{\phi} = 72,75 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot (10^{-2})^2 = 9,14 \cdot 10^{-5} \text{ Дж.}$$

Энергия пузырька за счет выталкивающей силы рассчитана по формуле (2):

$$\Delta E_a = -\frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (10^{-2})^3 \cdot 1800 \cdot 9,81 \cdot 0,1 = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Полученное значение на два порядка выше энергии за счет межфазной границы.

Следовательно, ключевым фактором, влияющим на энергетическое состояние газового пузырька в газобетоне, является его потенциальная энергия, которая определяется уровнем смеси ячеистого бетона над порой воздуха в полости.

Характеристики окружающей поры воздуха в полости среды и количество вещества в этой среде, измеряемое через присоединенную массу, оказывают существенное влияние на поры воздуха в газобетонной смеси. В традиционной теории присоединенная масса определяется как половина объема среды, вытесненной пузырьком, умноженная на плотность этой среды. Для сферического пузырька воздуха эту массу можно вычислить по формуле:

$$m_c = \frac{2}{3} \pi R_0^3 \rho_c. \quad (5)$$

Для рассматриваемого пузырька с радиусом $R_0 = 0,01$ м присоединяемый объем равен $V_0 = 2,09 \text{ см}^3$ или $2,09 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$. С учетом начальной плотности смеси $\rho_c = 1800 \text{ кг/м}^3$ присоединенная масса составит $3,77 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$.

На начальном этапе основной энергетической характеристикой, окружающей поры воздуха в полости среды, является температура ячеистобетонной смеси. Температура смеси при заливке равна $43 \text{ }^\circ\text{C}$. Приняв температуру воздуха

Произведем количественную оценку каждого из трех рассмотренных составляющих в энергетический потенциал поры воздуха в ячеистобетонной смеси. Вклад в энергию за счет кривизны поверхности.

Взяв для жидкой фазы ячеистобетонной смеси как для воды $\sigma = 72,75 \text{ мДж/м}^2$ для поры воздуха с $R_0 = 10 \text{ мм}$ по формуле (4), получим давление Лапласа $14,55 \text{ Па}$. Эта величина на четыре порядка ниже атмосферного давления $P_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Когда $P_0 \gg P_{л}$, внешнее атмосферное давление значительно выше лапласовского давления в пузырьке, пора воздуха чувствительна к любому внешнему изменению давления и является по Я.Е. Гегузину [16] «мягкой». Энергетический потенциал поры воздуха за счет кривизны поверхности незначительный.

Потенциальная энергия за счет межфазной границы определена по формуле (3):

в зоне заливки $25 \text{ }^\circ\text{C}$, получаем разность температур $18 \text{ }^\circ\text{C}$. Наличие градиента температур предопределяет передачу энергии от среды к воздуху, находящемуся в пузырьке. Градиент одинаков по всей поверхности сферы и приводит к нагреву воздуха в поре воздуха.

Определим количество энергии, необходимой для нагрева воздуха в рассматриваемом пузырьке на один градус. Так как воздух влажный, теплоемкость определяем по уравнению:

$$C_p = 1005 + 1865 \cdot d, \quad (6)$$

где $1005 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$ – удельная теплоемкость сухого воздуха при $25 \text{ }^\circ\text{C}$; $1865 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$ – удельная теплоемкость водяного пара; d – абсолютная влажность, кг водяного пара на кг сухого воздуха.

Содержание водяных паров в сухом воздухе принято 15 г . Масса сухого воздуха в поре воздуха с $R_0 = 0,01 \text{ м}$ составит $[4,19 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3] \cdot [1,29 \text{ кг/м}^3] = 5,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$. Теплоемкость влажного воздуха в поре воздуха: $1005 + 1865 \cdot 0,015 = 1033 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$.

Энергия для градиента температуры в один градус для поры воздуха составит: $1033 \cdot 5,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 5,58 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$. Для газобетонной смеси D500 объемная теплоемкость составляет $1,237 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3\cdot\text{град}$. Для присоединенного к поре воздуха с $R_0 = 10 \text{ мм}$ объема газобетонной смеси, равного $2,09 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3\cdot\text{град}$

энергия при градиенте температуры в один градус: $1,237 \cdot 10^6 \cdot 2,09 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 2,59$ Дж.

Следовательно, передача энергии от присоединенной массы поры воздухововлечения, при изменении температуры газобетонной смеси на 1°C с 43°C до 42°C достаточна, чтобы нагреть воздух в поре практически до 1000°C .

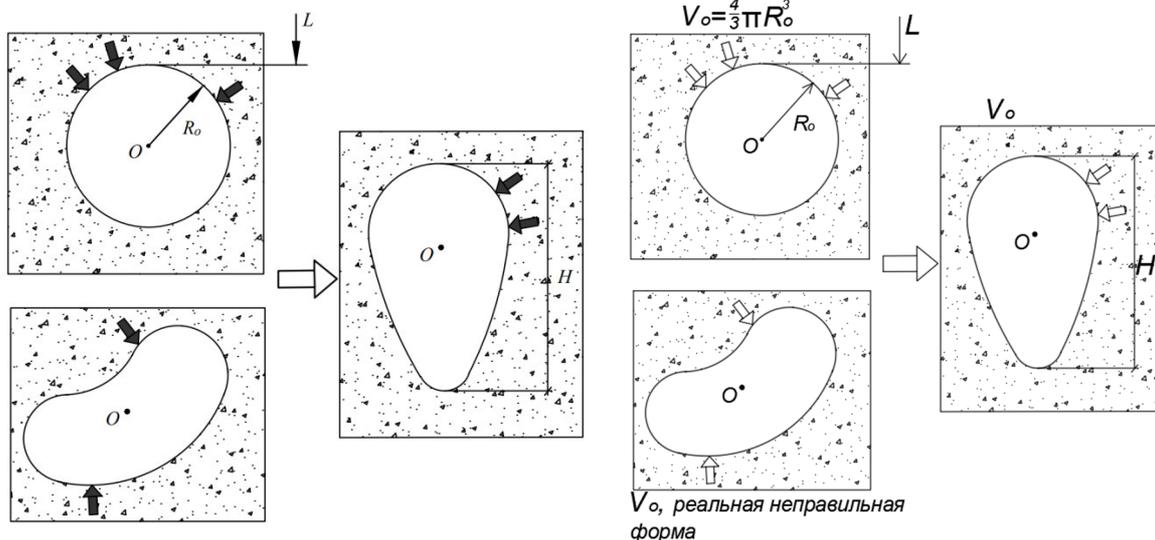


Рис. 5. Схема трансформации формы вовлеченного воздуха в поре воздухововлечения с формой перевернутой капли

Вывод. Занимающие значительную часть пространства в ячеистых бетонах поры оказывают влияние на строительные-технические свойства газобетона, в том числе теплоизоляционные. Поры воздухововлечения являются дефектами структуры газобетона и влияют на снижение его прочности и долговечности. Для улучшения качества газобетона и предотвращения образования пор воздухововлечения, необходимо оптимизировать технологии производства и контролировать процесс заливки.

Изучение пористой структуры и выявление дефектов в порах газобетона представляет собой важный этап для повышения качества и надежности строительных конструкций. Определение дефектов позволяет не только улучшить технологии производства газобетона, но и разработать методы обнаружения и контроля этих дефектов на всех стадиях производства материалов. Углубленное понимание пористой структуры и ее дефектов открывает новые перспективы для создания более эффективных строительных материалов с повышенной устойчивостью и долговечностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dong M., Ma R., Sun G., Pan C., Zhan S., Qian X., Chen R., Ruan S. Size distribution of pores

Уже на момент контакта пор воздухововлечения с окружающей его горячей газобетонной смесью пузырек с воздухом подвержен мощному энергетическому воздействию со стороны окружающей его среды. В таких условиях пора воздухововлечения примет энергетический статус, соответствующий минимуму его потенциальной энергии. Это форма перевернутой капли (рис. 5).

and their geometric analysis in red mud-based autoclaved aerated concrete (AAC) using regression neural network and elastic mechanics // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 359. 129420.

2. Лесовик В.С., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергоэффективные газобетоны на композиционных вяжущих для монолитного строительства // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 3 (639). С. 10–20.

3. Suleymanova L.A., Kara K.A., Suleymanov K.A., Pyrvu A.V., Netsvet D.D., Lukutsova N.P. The topology of the dispersed phase in gas concrete // Middle East Journal of Scientific Research. 2013. Vol. 18. Iss. 10. Pp. 1492–1498.

4. Huang Y., Ma L., Lai W., Mo Q., Zheng Y., Li Y., Xu M., Huang Z. Mechanical properties improving and microstructure characterization of inorganic artificial stone binder // Science and Engineering of Composite Materials. 2022. Vol. 29. Iss. 1. Pp. 335–345.

5. Kurochkina K., Suleymanova L., Kolomatsky A. Porosity of autoclave aerated concrete and foam concrete: origin of porosity and pore size // Magazine of Civil Engineering. 2021. Vol. 6 (106). 10606.

6. Kramer Ch., Schauer M., Kowald T.L., Trettin R.H.F. Three-phase-foams for foam concrete application // Materials Characterization. 2015. Vol. 102. Pp. 173–179.

7. Anders N. Investigations about porosity analyzing of AAC // 6th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete. 2018. Pp. 141–145.

8. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Сулейманов К.А. Обобщенный анализ характера поровой структуры газобетонов неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 3. С. 75–79.

9. Сулейманова Л.А., Сулейманов К.А., Погорелова И.А. Топология пор в газобетоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 100–105.

10. Сулейманова Л.А. Управление процессом формирования пористой структуры ячеистых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 69–76.

11. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Marushko M.V. Theoretical Basis of Formation Highly Organized Porous Structure of Aerated Concrete // Materials Science Forum. 2019. Vol. 945. Pp. 309–317.

12. Gadkar A., Subramaniam K. Porosity and pore structure control in cellular geopolymer using rheology and surface tension modifiers // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 323. 126600.

13. Kumar R., Bhattacharjee B. Porosity, pore size distribution and in situ strength of concrete // Cement and Concrete Research. 2003. Vol. 33. Issue 1. Pp. 155–164.

14. Suleymanova L.A., Marushko M.V., Kolomatsky A.S. Processing methods used to create high-quality porous structure of aerated concrete // Materials Science Forum. 2020. Vol. 992. Pp. 212–217.

15. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И. Выбор технологии производства автоклавного газобетона: ударная или литевая // Строительные материалы. 2015. № 8. С. 4–7.

16. Гегузин Я.Е. Капля. АН СССР. 2-е изд., доп. М.: Наука, 1977. 176 с.

Информация об авторах

Сулейманов Карим Абдуллаевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: karimsuleymanov@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 10.11.2023 г.

© Сулейманов К.А., 2023

Suleymanov K.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

E-mail: kloud09@mail.ru

AIR EXTRACTION PORES IN THE STRUCTURE OF AERED CONCRETE

Abstract. Aerated concrete is one of the most popular building materials, which has unique properties such as light weight, high sound and heat insulation characteristics and strength. However, its porous structure may reduce its strength and durability. In this article, the author examines the various types of pores in aerated concrete and their effect on its properties. Gel and capillary pores are the main types of pores that are formed during the production of aerated concrete. Air (gas) pores are formed as a result of a chemical reaction between gas and binder. They also affect the properties of aerated concrete, but to a lesser extent than gel and capillary ones. However, air entrainment pores negatively affect the quality of aerated concrete. This type of pore is formed when pouring an aerated concrete mixture and represents air bubbles that reduce the strength of the material and impair its thermal insulation properties. To improve the quality of aerated concrete and prevent the formation of air entrainment pores, it is necessary to optimize production technologies and control the pouring process. The article also discusses the features of the formation of an air entrainment pore and the transformation of the shape of entrained air in an air entrainment pore with the shape of an inverted drop.

Keywords: air entrainment pores, cellular concrete, aerated concrete mixture, gas bubble, cellular concrete mixture, porous structure.

REFERENCES

1. Dong M., Ma R., Sun G., Pan C., Zhan S., Qian X., Chen R., Ruan S. Size distribution of pores and their geometric analysis in red mud-based auto-

claved aerated concrete (AAC) using regression neural network and elastic mechanics. Construction and Building Materials. 2022. Vol. 359. 129420.

2. Lesovik V.S., Suleymanova L.A., Kara K.A. Energy-efficient aerated concrete with composite binders for monolithic construction [Energoeffek-

tivnye gazobetonny na kompozicionnyh vyazhushchih dlya monolitnogo stroitel'stva]. News of higher educational institutions. Construction. 2012. No. 3 (639). Pp. 10–20. (rus)

3. Suleymanova L.A., Kara K.A., Suleymanov K.A., Pyrvu A.V., Netsvet D.D., Lukutsova N.P. The topology of the dispersed phase in gas concrete. Middle East Journal of Scientific Research. 2013. Vol. 18. Iss. 10. Pp. 1492–1498.

4. Huang Y., Ma L., Lai W., Mo Q., Zheng Y., Li Y., Xu M., Huang Z. Mechanical properties improving and microstructure characterization of inorganic artificial stone binder. Science and Engineering of Composite Materials. 2022. Vol. 29. Iss. 1. Pp. 335–345.

5. Kurochkina K., Suleymanova L., Kolomatsky A. Porosity of autoclave aerated concrete and foam concrete: origin of porosity and pore size. Magazine of Civil Engineering. 2021. Vol. 6 (106). 10606.

6. Kramer Ch., Schauerte M., Kowald T.L., Trettin R.H.F. Three-phase-foams for foam concrete application. Materials Characterization. 2015. Vol. 102. Pp. 173–179.

7. Anders N. Investigations about porosity analyzing of AAC. 6th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete. 2018. Pp. 141–145.

8. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Suleymanov K.A. Generalized analysis of the nature of the pore structure of non-autoclaved aerated concrete using composite binders [Obobshchennyj analiz haraktera porovoj struktury gazobetonov neavtoklavnogo tverdeniya na kompozicionnyh vyazhushchih]. Bulletin of BSTU named after. V.G. Shukhov. 2016. No 3. Pp. 75–79. (rus)

9. Suleymanova L.A., Suleymanov K.A., Pogorelova I.A. Topology of pores in aerated concrete

[Topologiya por v gazobetone]. Bulletin of BSTU named after. V.G. Shukhov. 2016. No 5. Pp. 100–105. (rus)

10. Suleymanova L.A. Control of the process of formation of the porous structure of cellular concrete [Upravlenie processom formirovaniya poristoj struktury yacheistyh betonov]. Bulletin of BSTU named after. V.G. Shukhov. 2016. No. 2. Pp. 69–76. (rus)

11. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Marushko M.V. Theoretical Basis of Formation Highly Organized Porous Structure of Aerated Concrete. Materials Science Forum. 2019. Vol. 945. Pp. 309–317.

12. Gadkar A., Subramaniam K. Porosity and pore structure control in cellular geopolymer using rheology and surface tension modifiers. Construction and Building Materials. 2022. Vol. 323. 126600.

13. Kumar R., Bhattacharjee B. Porosity, pore size distribution and in situ strength of concrete. Cement and Concrete Research. 2003. Vol. 33/ Issue 1. Pp. 155–164.

14. Suleymanova L.A., Marushko M.V., Kolomatsky A.S. Processing methods used to create high-quality porous structure of aerated concrete. Materials Science Forum. 2020. Vol. 992. Pp. 212–217.

15. Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I. Choice of technology for the production of autoclaved aerated concrete: impact or injection [Vybor tekhnologii proizvodstva avtoklavnogo gazobetona: udarnaya ili lit'evaya]. Construction materials. 2015. No. 8. Pp. 4–7. (rus)

16. Geguzin Ya.E. A drop [Kaplya]. 2nd ed., add. M.: Nauka, 1977. 176 p. (rus)

Information about the authors

Suleymanov, Karim A., Postgraduate student. E-mail: karimsuleymanov@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 10.11.2023

Для цитирования:

Сулейманов К.А. Поры воздухововлечения в структуре газобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. №12. С. 8–15. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-8-15

For citation:

Suleymanov K.A. Air entrainment pores in the structure of aered concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 12. Pp. 8–15. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-8-15