

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-3-8-16

Сулейманов К.А., Лесовик В.С., Погорелова И.А., *Рябчевский И.С.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
*E-mail: kloud09@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКРОПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Аннотация. Метод анализа изображений поверхности разреза ячеистого бетона представляет собой инновационный способ получения детальных и достоверных данных о структуре материала на макроуровне. С использованием специализированных программных средств и алгоритмов обработки изображений можно автоматически выделять и анализировать различные компоненты структуры материала, что значительно упрощает процесс исследования и повышает его достоверность. Однако использование данных программных средств не позволяет получить достоверные данные о поверхностной пористости ячеистого бетона ввиду малой разницы градиентов пикселей при обработке изображений. В статье приводится разработанный авторами способ определения поверхностной пористости ячеистых бетонов. Особенностью данного метода является заполнение пор поверхности разреза измельченным аморфным углеродом, последующим получением изображения поверхности при помощи цифровой фотокамеры, а затем его обработкой и анализом. Применение аморфного углерода в качестве наполнителя пор обусловлено высокой дисперсностью его частиц, позволяющей наиболее качественно заполнить поры поверхности разреза ячеистого бетона в отличие от пигментных смесей на водной основе, поскольку поверхностное натяжение воды в растворе препятствует попаданию пигмента в мелкие поры. Результаты, полученные с использованием разработанного способа, показывают высокую сходимость с результатами, полученными при помощи традиционных методов анализа изображений пористой структуры. Таким образом, применение метода анализа изображений представляет собой перспективный подход к определению пористости ячеистых бетонов, обеспечивая высокую точность данных при минимальном воздействии на объект исследования.

Ключевые слова: макропористость, ячеистый бетон, метод анализа изображений, кластер изображения, аморфный углерод.

Введение. В современном строительстве одним из важнейших материалов являются ячеистые бетоны, обладающие уникальными свойствами, такими как низкая плотность, высокая теплоизоляция и прочность [1–4]. Однако для эффективного проектирования и использования ячеистых бетонов необходимо иметь подробное представление об их пористой структуре. Поры и каналы внутри бетонной матрицы играют ключевую роль в определении физических и механических характеристик материала, таких как прочность, тепло- и звукоизоляция.

Понимание пористой структуры ячеистых бетонов не только способствует разработке более эффективных строительных материалов, но также позволяет оптимизировать процессы производства и улучшить экологические характеристики бетонных конструкций.

Определение пористой структуры ячеистых бетонов может быть выполнено с использованием разнообразных методов и техник (рис. 1).

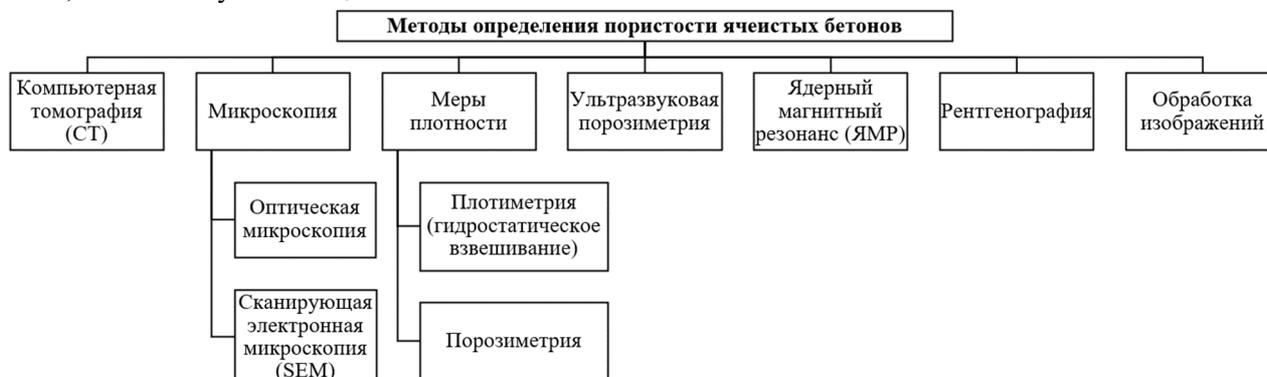


Рис. 1. Методы определения пористости ячеистых бетонов

Метод компьютерной томографии (СТ) основан на использовании рентгеновских лучей,

которые проходят через образец бетона. Данный метод позволяет не только оценивать общую

плотность различных областей объекта, через которые проходит рентгеновский луч (как в обычной рентгенографии), но и анализировать пространственное распределение этих плотностей. После прохождения через образец лучи попадают на детекторы, и информация об их поглощении используется для создания трехмерного изображения внутренней структуры материала [5].

СТ-сканирование обеспечивает высокую пространственную разрешающую способность, что позволяет видеть поры и каналы внутри бетона на микроуровне. Также данный метод не требует разрушения образца, что позволяет сохранить исследуемый материал для последующих исследований.

Однако СТ-сканирование включает в себя использование рентгеновских лучей, что может быть проблематично при исследовании больших образцов и требует соблюдения соответствующих мер безопасности. Метод может быть менее точным при анализе материалов с низкой разницей в плотности между порами и матрицей. При этом обработка данных СТ может потребовать специализированных программных средств и вычислительных ресурсов.

Микроскопия – это обширная группа методов, позволяющих исследовать пористую структуру материалов, включая ячеистые бетоны, на различных уровнях увеличения [6]. В зависимости от конкретной задачи и доступных средств могут использоваться разные виды микроскопии, такие как оптическая микроскопия и сканирующая электронная микроскопия (SEM).

Оптический микроскоп использует видимый свет для освещения образца. Свет проходит через объективы и линзы, увеличивая изображение образца. Это позволяет исследовать структуру материала на макроскопическом уровне. Для анализа пористой структуры ячеистых бетонов, образец может быть подготовлен в виде тонких срезов, чтобы показать внутренние детали. Оптические микроскопы широко распространены и относительно доступны для большинства лабораторий.

SEM использует пучок электронов вместо света для освещения образца. Когда электроны взаимодействуют с образцом, они создают детальное изображение его поверхности. SEM позволяет получить высокоразрешающие изображения пористой структуры бетона на микроскопическом и даже наномасштабе [6].

Методы измерения плотности материалов, включая ячеистые бетоны, играют важную роль в определении пористой структуры. Существует несколько методов для измерения плотности материалов:

Плотиметрия (гидростатическое взвешивание). Данный метод основан на законе Архимеда, согласно которому любой предмет, погруженный в жидкость, вытесняет из жидкости объем, равный своему собственному объему. Для измерения плотности ячеистого бетона образец взвешивается в воздухе и затем в жидкости, обычно воде. Разница в весе позволяет вычислить объем образца, а плотность определяется как отношение массы к объему. Однако данный метод не позволяет различать различные компоненты внутри материала, такие как поры и матрица, а также не дает информацию о размерах и распределении пор.

Порозиметрия. Этот метод используется для определения размеров и распределения пор в материале. Существуют разные виды порозиметрии, но одним из наиболее распространенных методов является ртутная порозиметрия. В этом методе образец насыщается ртутью, и измеряется давление, которое ртуть оказывает на материал в зависимости от его пористой структуры. Это позволяет определить размеры пор и распределение пор в материале. При этом работа с ртутью требует соблюдения особых мер безопасности.

Ультразвуковые методы являются мощным инструментом для анализа пористой структуры материалов, включая ячеистые бетоны. Эти методы используют ультразвуковые волны для определения физических свойств материала и структуры пор [7, 8].

Ультразвуковые методы основаны на измерении времени, которое требуется ультразвуковым волнам для прохождения через материал и возврата обратно [9]. Ультразвуковые волны проникают в материал и могут быть отражены или рассеяны различными структурами и компонентами внутри материала, включая поры и каналы. Измеряя время задержки и амплитуду возвратных ультразвуковых волн, можно получить информацию о структуре и физических свойствах материала.

Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) – это метод анализа пористой структуры материалов, который использует взаимодействие молекул с ядерными магнитными моментами (ядерными спинами) с магнитным полем и радиочастотным излучением [10]. ЯМР обычно применяется в химии и биологии, но также может быть использован для исследования материалов, включая ячеистые бетоны.

Принцип работы метода ЯМР: Ядра атомов (например, водорода, кислорода, углерода) обладают магнитными моментами, что означает, что они взаимодействуют с магнитным полем. В начальном состоянии ядра выстроены вдоль магнитного поля. Под действием радиочастотного

излучения (RF-импульса) ядра могут перейти в состояние, где их магнитные моменты поворачиваются вдоль новой оси, перпендикулярной магнитному полю.

После окончания воздействия RF-импульса ядра возвращаются к исходному состоянию. Процесс возврата сопровождается излучением радиочастотных сигналов, которые регистрируются и используются для создания спектра ЯМР. Спектр ЯМР предоставляет информацию о магнитных свойствах и взаимодействии ядер внутри материала. В частности, он может позволить исследовать взаимодействие молекул воды с порами и каналами бетона [10].

Однако широкое применение данного метода ограничено тем, что ЯМР требует специализированного оборудования, и данный метод лучше всего работает в материалах с высоким содержанием воды, что может ограничивать его применение в более сухих материалах.

Рентгенография – это метод исследования, который использует рентгеновские лучи для создания изображений внутренней структуры материалов и объектов. Этот метод может быть использован для анализа пористой структуры различных материалов, включая ячеистые бетоны [11].

В рентгенографии используются рентгеновские лучи, которые являются высокоэнергетическими фотонами. Лучи проходят через исследуемый материал и взаимодействуют с его атомами, что приводит к рассеянию и поглощению лучей. Как результат, на детекторе регистрируются интенсивность и распределение прошедших лучей.

Плотные материалы и компоненты материала будут более поглощать рентгеновские лучи, что создает различия в интенсивности лучей, отражаемых от разных частей материала. Измеряя интенсивность и угол рассеяния лучей, можно создать изображение внутренней структуры материала.

Рентгенография не разрушает образец и может использоваться для неконтактного изучения внутренней структуры материала. Также рентгенография обеспечивает высокое разрешение изображений, что позволяет видеть мелкие детали и поры в материале. Однако рентгеновские лучи являются формой ионизирующего излучения, поэтому при работе с ними необходимо соблюдать соответствующие меры безопасности. При этом рентгенография может показать различия в плотности материала, но не всегда позволяет различить разные компоненты внутри материала.

Метод анализа изображений начинается с оцифровки поверхности ячеистого бетона, при

которой цифровая фотокамера захватывает серию изображений поверхности. Эти снимки делаются при последовательном освещении ячеистого бетона световыми лучами, падающими под разными углами [12, 13]. Полученные изображения затем импортируются в специализированную программу для обработки. В этой программе происходит последовательное сравнение интенсивности красной, зеленой и синей составляющих каждого пикселя на серии изображений. Новое изображение формируется с учетом интенсивности каждого пикселя, приближенной к черному цвету.

Для получения цифровых изображений поверхности ячеистого бетона применяются красящие составы [14], включающие предварительную обработку поверхности материала следующим образом: сначала проводится шлифовка для достижения ровной однородной поверхности, затем поверхность подвергается продувке компрессором. Далее, поверхность равномерно покрывается пигментной смесью на основе черной водорастворимой гуаши, после чего происходит сушка, повторная шлифовка и повторная продувка. Оцифровка поверхности ячеистого бетона осуществляется с использованием бытового планшетного сканера, и затем определяются параметры пористости данного материала.

Эти методы являются менее трудоемкими, поскольку не требуют специализированного оборудования. Однако методы, использующие красящие составы, обладают значительным недостатком: поверхностное натяжение пигментной смеси, основанной на черной водорастворимой гуаши или других красящих составах, мешает проникновению пигмента в мелкие поры, что снижает точность определения параметров пористости ячеистого бетона.

Таким образом, целью исследования стала разработка и описание метода определения пористости ячеистых бетонов с использованием анализа изображений.

К задачам исследования можно отнести разработку метода предварительной обработки поверхности материала для достижения оптимальных условий анализа; определение параметров для заполнения пор лицевой поверхности материала с целью обеспечения качественного и точного анализа; разработку методики анализа цветных компонентов изображения для определения пористости с последующим анализом и интерпретацией полученных результатов.

Материалы и методы. В разработанном авторами методе определения поверхностной пористости ячеистых бетонов предлагается выполнить предварительную обработку поверхности

материала, включающую шлифовку для достижения ровной однородной поверхности и продувку компрессором [14, 15]. Для проведения исследования использовалось девять фрагментов

газобетонного блока марки по средней плотности $D500$ завода ЗАО «Аэробел» (г. Белгород, Россия) размером 15×15 мм каждый (рис. 2, а).

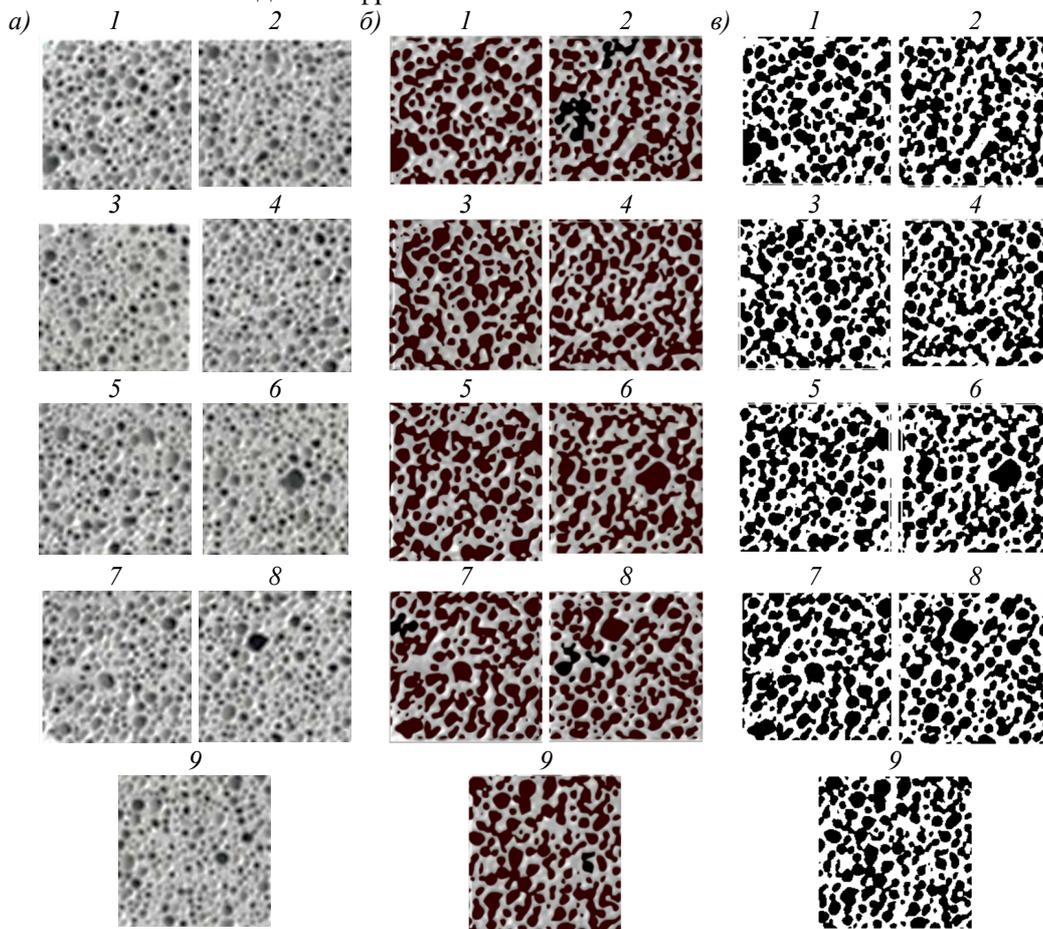


Рис. 2. Поверхность разреза образцов ячеистого бетона: а – натуральный вид; б – поверхность разреза с порами, заполненными аморфным углеродом; в – оцифрованный вид поверхности с пикселями, интенсивность которых наиболее близка к черному цвету; 1–9 – номера образцов

Поры поверхности разреза материала после продувки заполняются измельченным аморфным углеродом, в данном случае измельченным древесным углем (рис. 2, б). Применение аморфного углерода в качестве наполнителя пор обусловлено высокой дисперсностью его частиц, позволяющей наиболее качественно заполнить поры поверхности разреза ячеистого бетона в отличие от пигментных смесей на водной основе, поскольку поверхностное натяжение воды в растворе препятствует попаданию пигмента в мелкие поры. При использовании пигментной смеси на основе черной водорастворимой гуаши после заполнения пор необходима сушка, повторная шлифовка и повторная продувка поверхности разреза. Данные этапы усложняют предварительную обработку поверхности материала, при этом повторная шлифовка может открыть поры, не заполненные пигментной смесью после первой шлифовки. При использовании измельченного аморфного углерода в качестве наполнителя пор

нет необходимости в сушке, повторной шлифовке и продувке поверхности.

Затем производится оцифровка поверхности с использованием цифровой фотокамеры при освещении поверхности ячеистого бетона световыми лучами, падающими под углом к поверхности с разных сторон [15].

Полученное цифровое изображение импортируется в графический редактор Just Color Picker для последовательного сравнения интенсивности каждой из трех цветовых компонент: красной, зеленой и синей, для каждого пикселя изображения [15]. Формируются пиксели поверхности газобетона, интенсивность которых наиболее близка к черному цвету (рис. 2, в).

Для оценки корректности полученных результатов в рамках использования метода анализа изображений проведено исследование поверхностной пористости образцов ячеистого бетона без заполнения пор красящим составом с применением программы ImageJ, включающей в

себя все необходимые функции для цифровой обработки изображений [16]. Для обработки и анализа характеристик макропористой структуры поверхности газобетона в программе ImageJ использовался следующий алгоритм:

- преобразование изображения в 8-битное для повышения контрастности;
- устранение случайных шумов (появляющихся из-за дефектов поверхности и случайных связей пор) с помощью функции фильтра;
- сегментация изображения (выделение фона от важных макроразмерных структур) для нахождения порогового значения (порога) для полного определения объекта;
- анализ выбранных объектов.

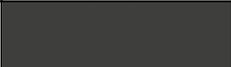
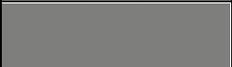
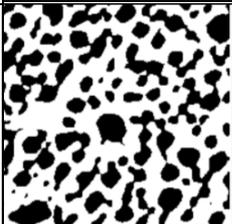
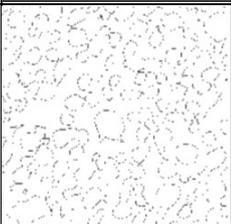
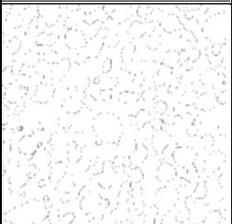
Программа ImageJ, применяемая для анализа изображений, использует метод обнаружения краев – это алгоритм, который используется для выделения границ объектов на изображении. Он основан на вычислении градиента изображения, который показывает изменение яркости в каждой

точке изображения. Однако при преобразовании изображения в 8-битное (256 цветов) для повышения контрастности из исходного 24-битного (полноцветное изображение) не все цвета могут быть представлены в 256-цветном пространстве, что ограничивает получение точных данных о пористой структуре материала.

Основная часть. Цифровое изображение поверхности разреза газобетона импортируется в специализированную программу, такую как Image Color Summarizer, которая позволяет определить процентное содержание пикселей для каждого значения цвета RGB на изображении. Пиксели группируются в кластеры на основе их цветового сходства – пиксели с похожими цветами с большей вероятностью будут сгруппированы вместе. Здесь сходство цветов основано не только на оттенке – оно учитывает все аспекты цвета: яркость, цветность и оттенок. Пиксели изображения, присвоенные каждому кластеру представлены в таблице 1.

Таблица 1

Разделы кластера изображений на примере образца 1

Код RGB	253, 253, 254	1, 2, 3	192, 192, 192	61, 61, 61	127, 127, 125
Кластер					
Раздел кластера					

Цвета на изображении были сгруппированы в 5 групп (табл. 1). Показан средний цвет цветов для каждого кластера.

Показатель поверхностной пористости газобетона определяется процентным содержанием пикселей сформированного цифрового изображения, интенсивность которых наиболее близка к черному цвету, то есть с интенсивностью каждого из трех цветовых компонентов: красного, зеленого и синего, от 0 до 200. К пикселям с RGB от 0 до 100 следует отнести пиксели пор, заполненных измельченным аморфным углеродом; от 100 до 200 – пиксели фактических границ пор, полученные при последовательном освещении поверхности ячеистого бетона, как пористого тела, световыми лучами; от 200 до 255 – пиксели межпоровых перегородок.

Для сравнения полученных данных в исследовании использовалась программа ImageJ.

Результаты анализа изображений представлены в таблице 2.

На основании результатов исследования, приведенных в таблице 2, можно сделать вывод о

высокой сходимости значений пористости, полученных при помощи разработанного авторами метода и с использованием программы ImageJ, при этом относительное допускаемое расхождение между результатами не превышает 1–2 %.

Таким образом, использование предложенного авторами метода определения пористости ячеистого бетона позволяет получить качественные и достоверные данные о пористости ячеистого бетона по цифровому изображению его поверхности разреза.

Вывод. Разработанный авторами метод определения пористости ячеистых бетонов, который включает в себя заполнение пор поверхности измельченным аморфным углеродом, последующее получение цифрового изображения при помощи цифровой фотокамеры и его анализ, представляет собой перспективный подход. Использование аморфного углерода в качестве заполнителя пор газобетона способствует снижению трудоемкости предварительной подготовки поверхности разреза без снижения качества получаемых изображений.

Метод анализа изображений поверхности разреза ячеистого бетона успешно демонстрирует свою эффективность в получении подробных данных о структуре материала на макроуровне. Значения пористости, полученные с помощью разработанного метода, сопоставимы с результатами, полученными программой ImageJ,

с относительным допускаемым расхождением не более 1–2 %. Такая высокая степень сходимости подтверждает эффективность и точность разработанного метода в определении поверхностной пористости ячеистого бетона по цифровому изображению его поверхности разреза.

Таблица 2

Результаты анализа цифровых изображений поверхности разреза газобетона

№ образца	Параметр кластера	Раздел кластера					Поверхностная пористость, %	
							полученная разработанным способом	полученная программой ImageJ
1	Код RGB	253,253,254	1,2,3	192,192,192	61,61,61	127,127,125	61,35	60,98
	Содержание пикселей, %	38,65	35,54	9,55	8,46	7,80		
2	Код RGB	248,248,247	8,8,8	192,192,192	128,128,128	66,66,66	63,16	63,27
	Содержание пикселей, %	36,84	27,76	13,96	11,40	10,04		
3	Код RGB	248,248,247	8,8,8	186,186,186	127,127,127	66,66,66	65,44	65,72
	Содержание пикселей, %	34,56	28,76	13,32	12,00	11,36		
4	Код RGB	246,247,247	8,8,8	189,189,189	66,66,66	125,125,125	65,20	65,65
	Содержание пикселей, %	34,80	29,72	12,52	11,80	11,16		
5	Код RGB	248,248,247	8,8,8	184,184,184	125,125,125	66,66,66	64,56	64,87
	Содержание пикселей, %	35,44	29,68	14,80	10,40	9,68		
6	Код RGB	246,247,247	8,8,8	184,184,184	64,64,64	124,123,122	63,96	63,02
	Содержание пикселей, %	36,04	29,43	13,59	10,65	10,29		
7	Код RGB	246,247,247	8,8,8	189,189,189	132,132,130	66,66,66	64,12	64,58
	Содержание пикселей, %	35,88	28,64	12,24	11,84	11,40		
8	Код RGB	246,247,247	8,8,8	189,189,189	128,128,128	69,69,69	65,96	64,94
	Содержание пикселей, %	34,04	28,20	12,72	12,60	12,44		
9	Код RGB	248,248,247	8,8,8	192,192,192	66,66,66	128,128,128	65,44	65,81
	Содержание пикселей, %	34,56	28,24	14,00	11,76	11,44		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Кондрашев К.Р., Сулейманов К.А., Пириев Ю.С. Энергосберегающие газобетоны на композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 73–83.

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

3. Сулейманова Л.А., Коломацкий А.С., Погорелова И.А., Марушко М.В. Повышение эффективности производства и применения ячеистых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 34–42. DOI:10.12737/article_5a001aae2035d9.25914342

4. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кара К.А. Энергоэффективный газобетон // В сборнике: Научные и инженерные проблемы строительной-технологической утилизации техногенных отходов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2014. С. 218–220.

5. Осипов С.П., Прищепа И.А., Кудяков А.И. Компьютерная томография пенобетона // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 2(38). С. 146–152. DOI: 10.18324/2077-5415-2018-2-146-152

6. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А., Петрова Т.М. Микропористость ячеистого бетона и ее влияние на теплопроводность // Строительные материалы. 2021. № 8. С. 67–71. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-794-8-67-71

7. Kravcov A., Svoboda P., Konvalinka A., Cherepetskaya E., Karabutov A., Morozov D., Shibaev I. Laser-Ultrasonic Testing of the Structure and Properties of Concrete and Carbon Fiber-Reinforced Plastics // *Key Engineering Materials*. 2016. Vol. 722. P. 267–272. DOI: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/KEM.722.267
8. Kim B., Kim J. Characterization of ultrasonic properties of concrete // *Mechanics Research Communications*. 2009. Vol. 36. Pp. 207–214. DOI:10.1016/j.mechrescom.2008.07.003
9. Бойчук А.С., Чертищев В.Ю., Диков И.А., Генералов А.С. Оценка возможности определения пористости в углепластике ультразвуковым теневым методом // *Труды ВИАМ*. 2017. №7 (55). С. 102–109. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-7-11-11
10. Cherepetskaya E.B., Zalevskii I.A.O. Study of porosity of sedimentary rock samples by nuclear magnetic resonance and laser- ultrasound diagnostics // *МИАВ. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023. Vol. (8). Pp. 63–71. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_8_0_63
11. Sokhansefat G., Moradian M., Finnell M., Behravan A., Ley M., Lucero C., Weiss W. Using X-ray Computed Tomography to Investigate Mortar Subjected to Freeze-Thaw Cycles. *Cement and Concrete Composites*. 2020. Vol. 108. 103520. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103520.
12. Lange D.A., Jennings H.M., Shah S.P. Image analysis techniques for characterization of pore structure of cement-based materials // *Cement and Concrete Research*. 1994. No 24(5). P. 841–853. DOI:10.1016/0008-8846(94)90004-3
13. Speranzini E., Marsili R., Moretti M., Rossi G. Image Analysis Technique for Material Behavior Evaluation in Civil Structures // *Materials*. 2017. Vol. 10. P. 1. DOI: 10.3390/ma10070770
14. Бедарев А.А. Возможности компьютерного анализа макроструктуры ячеистого бетона и его практическая реализация // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2010. № 2. С. 39–44.
15. Патент 2811671, Российская Федерация, МПК G01F 18/211. Способ определения пористости ячеистых бетонов / И.А. Погорелова, К.А. Сулейманов, В.С. Лесовик, И.С. Рябчевский.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2023115880; заявл. 16.06.2023; опубл. 15.01.2024, Бюл. № 2. 5 с.
16. Wang Z., Guo Y., Zhang P. A rapid quantitation of cell attachment and spreading based on digital image analysis: Application for cell affinity and compatibility assessment of synthetic polymers // *Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 128. 112267. DOI: 10.1016/j.msec.2021.112267

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.

Лесовик Валерий Станиславович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: naukavs@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Погорелова Инна Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: innapogorelova@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Рябчевский Игорь Сергеевич, старший преподаватель кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: kloud09@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 19.01.2024 г.

© Сулейманов К.А., Лесовик В.С., Погорелова И.А., Рябчевский И.С., 2024

Suleymanov K.A., Lesovik V.S., Pogorelova I.A., *Ryabchevskiy I.S.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

E-mail: kloud09@mail.ru

STUDY OF THE MACROPOROUS STRUCTURE OF CELLULAR CONCRETE

Abstract. *The method of image analysis of the front surface of cellular concrete is an innovative way to obtain detailed and reliable data on the structure of the material at the macro level. Using specialized software and image processing algorithms, various components of the material structure can be automatically isolated*

and analyzed, which greatly simplifies the research process and increases its reliability. The article presents a method developed by the authors for determining the surface porosity of cellular concrete. A feature of this method is the filling of the pores of the front surface with crushed amorphous carbon, followed by obtaining an image of the front surface using a digital camera, and then its processing and analysis. The use of amorphous carbon as a pore filler is due to the high dispersion of its particles, which makes it possible to most efficiently fill the pores of the cut surface of cellular concrete, in contrast to water-based pigment mixtures, since the surface tension of water in the solution prevents the pigment from entering small pores. The results obtained using the developed method show high convergence with the results obtained using traditional methods for analyzing images of porous structures. Thus, the use of image analysis method represents a promising approach to determining the porosity of cellular concrete, providing high accuracy of data with minimal impact on the object of study.

Keywords: macroporosity, cellular concrete, image analysis method, image cluster, amorphous carbon.

REFERENCES

1. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Kondrashev K.R., Suleymanov K.A., Piriev Yu.S. Energy-saving aerated concrete with composite binders [Energoberegayushchie gazobetonny na kompozitsionnyh vyazhushchih]. Bulletin of the BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 4. Pp. 73–83. (rus)
2. Suleymanova L.A. Control of the process of formation of the porous structure of cellular concrete. Bulletin of the BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 2. Pp. 69–76. (rus)
3. Suleymanova L.A., Kolomatsky A.S., Pogorelova I.A., Marushko M.V. Increasing the efficiency of production and application of cellular concrete [Upravlenie processom formirovaniya poristoy struktury yacheistyh betonov]. Bulletin of the BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 11. Pp. 34–42. DOI: 10.12737/article_5a001aae2035d9.25914342. (rus)
4. Suleymanova L.A., Kolomatskaya S.A., Kara K.A. Energy-efficient aerated concrete [Povyshenie effektivnosti proizvodstva i primeneniya yacheistyh betonov]. In the collection: Scientific and engineering problems of construction and technological recycling of industrial waste. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova. 2014. Pp. 218–220. (rus)
5. Osipov S.P., Prishchepa I.A., Kudyakov A.I. Computed tomography of foam concrete [Komp'yuternaya tomografiya penobetona]. Systems. Methods. Technologies. 2018. No. 2(38). Pp. 146–152. DOI: 10.18324/2077-5415-2018-2-146-152. (rus)
6. Vylegzhanin V.P., Pinsker V.A., Petrova T.M. Microporosity of cellular concrete and its influence on thermal conductivity [Mikroporistost' yacheistogo betona i ee vliyanie na teploprovodnost']. Construction materials. 2021. No. 8. Pp. 67–71. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-794-8-67-71. (rus)
7. Kravcov A., Svoboda P., Konvalinka A., Cherepetskaya E., Karabutov A., Morozov D., Shibaev I. Laser-Ultrasonic Testing of the Structure and Properties of Concrete and Carbon Fiber-Reinforced Plastics. Key Engineering Materials. 2016. Vol. 722. Pp. 267–272. DOI: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/KEM.722.267
8. Kim B., Kim J. Characterization of ultrasonic properties of concrete // Mechanics Research Communications. 2009. No. 36. Pp. 207–214. DOI:10.1016/j.mechrescom.2008.07.003
9. Boychuk A.S., Chertishchev V.Yu., Dikov I.A., Generalov A.S. Assessment of the possibility of determining porosity in carbon fiber by the ultrasonic shadow method [Ocenka vozmozhnosti opredeleniya poristosti v ugleplastike ul'trazvukovym tenevym metodom]. Proceedings of VIAM. 2017. No. 7 (55). Pp. 102–109. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-7-11-11
10. Cherepetskaya E.B., Zalevskii Ia.O. Study of porosity of sedimentary rock samples by nuclear magnetic resonance and laser-ultrasound diagnostics. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2023. No. (8). Pp. 63–71. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_8_0_63
11. Bortolotto, T., Lura, P., Kaufmann, J. Combined use of X-ray micro-computed tomography and scanning electron microscopy for the investigation of frost damage in cementitious materials. Cement and Concrete Research. 2014. Vol. 65. Pp. 54–67.
12. Lange D.A., Jennings H.M., Shah S.P. Image analysis techniques for characterization of pore structure of cement-based materials. Cement and Concrete Research. 1994. Vol. 24(5). Pp. 841–853. DOI:10.1016/0008-8846(94)90004-3
13. Speranzini E., Marsili R., Moretti M., Rossi G. Image Analysis Technique for Material Behavior Evaluation in Civil Structures. Materials. 2017. Vol. 10. 1. DOI: 10.3390/ma10070770
14. Bedarev A.A. Possibilities of computer analysis of the macrostructure of cellular concrete and its practical implementation [Vozmozhnosti komp'yuternogo analiza makrostruktury yacheistogo betona i ego prakticheskaya realizaciya]. Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. 2010. No. 2. Pp. 39–44. (rus)
15. Pogorelova I.A., Suleymanov K.A., Lesovik V.S., Ryabchevsky I.S. Method for determining the porosity of cellular concrete. Patent RF, no 2811671, 2024. (rus)

16. Wang Z., Guo Y., Zhang P. A rapid quantitation of cell attachment and spreading based on digital image analysis: Application for cell affinity and

compatibility assessment of synthetic polymers. *Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 128. 112267. DOI: 10.1016/j.msec.2021.112267

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.

Lesovik, Valeriy S. DSc, Professor, Head of the Department of Construction Materials Science, Products and Structures. E-mail: naukavs@mail.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Pogorelova, Inna A. PhD, Assistant professor of the Department of Construction and Urban Economy. E-mail: innapogorelova@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ryabchevskiy, Igor S. Postgraduate student. E-mail: kloud09@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 19.01.2024

Для цитирования:

Сулейманов К.А., Лесовик В.С., Погорелова И.А., Рябчевский И.С. Исследование макропористой структуры ячеистого бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №3. С. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-3-8-16

For citation:

Suleymanov K.A., Lesovik V.S., Pogorelova I.A., Ryabchevskiy I.S. Study of the macroporous structure of cellular concrete. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2024. No. 3. Pp. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-3-8-16