

**Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
Технический университет Молдовы**



## **МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ**

**Материалы международного  
научно-технического семинара**

**Одесса, 16-17 ноября 2017**

## **MODELLING AND OPTIMIZATION OF BUILDING COMPOSITES**

**Proceedings of International Seminar**

**Odessa, November 16-17, 2017**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ АНИЗОТРОПИИ  
ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА**

**Довгань И.В., Колесников А.В., Семенова СВ., Дмитренко М.П.**  
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

*Abstract. Some geometric characteristics of the pore structure of building composites have been studied. The tendency to the formation of pore ensembles in the structure of the material and a locally anisotropic porous structure is shown.*

*Key words: structure, pores, anisotropy, ensembles*

Одним из компонентов строительных композитных материалов и, в частности, гипсовых штукатурных композитов являются жидкостные и воздушные поры, формирующие совместно с межпоровыми интервалами пористую структуру материала [1]. Пористая структура часто образуется случайно в результате воздухововлечения на различных фазах технологического процесса изготовления композитов, но может возникать также и в результате целенаправленного вмешательства, например, при введении воздухововлекающих и порообразующих добавок для изготовления газосиликата и пенобетона [2]. Геометрические характеристики пористой структуры существенно влияют на свойства изделий и покрытий из композиционных материалов, в частности, на прочность, плотность и теплопроводность, и, при статистическом рассмотрении, позволяют прогнозировать эксплуатационные характеристики композита.

Исследование пространственной организации поровой структуры [3] гипсового композита позволило сделать, в частности, следующие выводы:

1. Поры совместно с межпоровыми перегородками формируют относительно однородные области композита - поровые ансамбли, в которых наблюдаются взаимно согласованные структурные изменения пор, материала перегородок, трещин и внутренних границ раздела.
2. Поры активно влияют на материал композита, производя, в частности, его уплотнение вблизи поверхности поры.

Особенно чувствительным индикатором внутренних процессов в материале представляется ориентация поры в пространстве - угол между направлением наблюдаемой горизонтальной оси и большой полуосью соответствующего эллипса (аппроксимирующего форму поры), получаемый методом компьютерной микроскопии образцов материалов. Соответствующее распределение пор по углам ориентации не является равномерным, что свидетельствует о влиянии технологического режима формования соответствующего образца (рис.1)

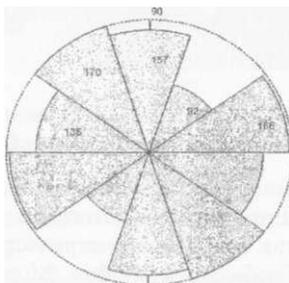


Рис. 1. Распределение наблюдаемых пор по углам ориентации относительно горизонтальной оси

Если вид углового распределения пор является индикатором степени влияния технологического режима на целый образец либо изделие, то пространственное распределение углов ориентации четко указывает направления локальных деформаций в материале.

Исследование такого распределения осуществлялось сеточным методом 2-D интерполяции (рис.2). Визуально можно наблюдать группы соседствующих пор со сходной пространственной ориентацией. Этот факт представляется еще одним свидетельством формирования поровых ансамблей. Процессы структурообразования локального характера вызывают, очевидно, внутренние деформации сходного вида, придающие соответствующим порам одинаковую ориентацию. Соответствующие области прослеживаются на обработанных с помощью метода интерполяции изображениях (рис. 2).

Одной из причин наблюдаемых эффектов могут быть и конвективные процессы, связанные с растворением и кристаллизацией вяжущего материала. Периодические структуры похожего типа наблюдаются, например, в конвективных системах с градиентом температур. Например, хорошо известные ячейки Бенара [4] - результат самоорганизации потоков жидкости. Не исключен процесс самоорганизации и для рассматриваемого материала.

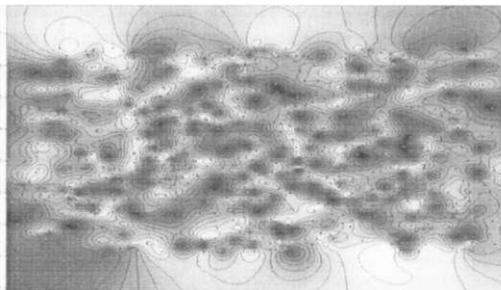


Рис.2. Углы ориентации пор - пространственное распределение по координатам исследуемого образца

Полученные наглядно представления необходимо верифицировать статистически. С этой целью пространственное распределение пор по углам исследовалось при помощи геометрической автокорреляция - статистики Морана, Глобальный индекс Морана  $I$  (1) позволяет оценивать, являются ли объекты с одинаковыми значениями параметров пространственно сгруппированными (формирующими кластеры), рассредоточенными (дисперсионными) или случайно распределенными [5].

$$I = \frac{N}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w(i, j) (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, j \neq i \quad (1)$$

Процедура вычисления индекса Морана позволила определить его значения для 12 интервалов на расстоянии 0-6 мм, а также ожидаемое его значение, в рассматриваемом случае -0,0014, и z-оценку доверительного интервала. Нулевая гипотеза о случайности распределения не отвергается при z из интервала [-1,65; 1,65],  $p=0,1$ . Когда z-оценка указывает на статистическую значимость (выходит за пределы интервала), индекс Морана  $I$ , больший ожидаемого значения, свидетельствует о тенденции к кластеризации, в то время как значения индекса Морана, меньшее ожидаемого, свидетельствует о дисперсном распределении объектов (рис. 3). Приведенный анализ выявил образование групп ближайших пор со сходными углами ориентации при интервалах  $\tau=0,5-1$  мм, вторую область сходных значений при  $\tau=2$  мм, а также области слабой отрицательной корреляции при 4 и 6 мм.

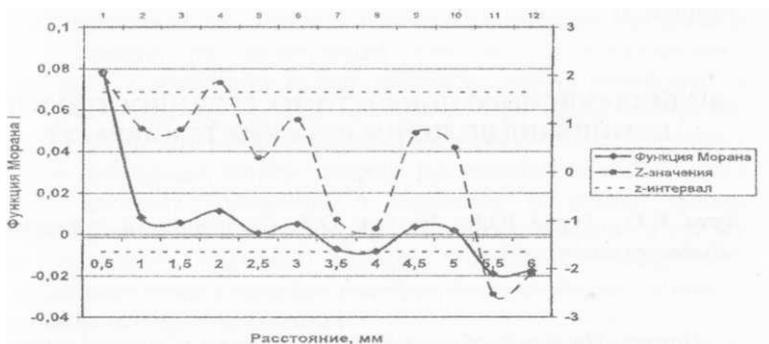


Рис.3. Автокорреляционный геометрический анализ поровой структуры композита с помощью индекса Морана

Таким образом, статистически доказана наблюдаемая визуально тенденция к образованию сходной пространственной ориентации у соседствующих пор, что является одним из признаков формирования норовых ансамблей. Кроме этого, отрицательная корреляции на дальних расстояниях соответствует образованию статистической периодической структуры исследуемого материала.

Образование локально анизотропной пористой структуры с характерной ориентацией и анизотропией обусловлено в большей степени технологическими факторами изготовления изделия или покрытия. Управляя ими, можно управлять эксплуатационными свойствами строительных композитных материалов за счет целенаправленной организации пространственной поровой структуры композита.

1. Довгань И.В. Статистическое исследование поровой структуры теплоизоляционных композитов /И. В. Довгань, В. Я Керш, А.В. Колесников, С. В. Семенова // Вюник Одесько\*1 державно! академн будвницпта та архкектуре - 2015. -№ 60.- С. 86-90.
2. Дворкин Л.И. Строительные минеральные вяжущие материалы / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. - М.: Инфра-Инженерия, 2011 - 544 с.
3. Колесников А.В. Высокнаполненные гипсовые теплоизолирующие композиции: Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Колесников А.В. - Одесса: ОГАСА, 2016.- 175с.
4. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. / Г. Хакен - М.: Мир, 1985. -424 с.
5. Getis, A. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics /A. Getis, J. K Ord, *Geographical Analysis*, 1992, 24, 189-206.

## СОДЕРЖАНИЕ

Можливість і спеціальних покриттів в сучасному будівництві <i>Бачинський В.В.</i>	3
Динамические модели организации структуры минеральных вяжущих <i>Выровой В.Н., Коробко О.Л., Суханов В.Г., Виноградский В.М.</i>	9
Роль полимерных суперабсорбентов в регулировании термокинетическими показателями твердеющих ремонтных композиций <i>Гедулян СИ., Савченко СВ.</i>	13
Исследование влияния концентрации углеродных нанотрубок на механизм структурообразования гипсовых вяжущих <i>Деревянко В.Н., Гришко А.Н., Мороз В.Ю.</i>	18
Структура и свойства магнезиального камня полученного при различных температурах обжига <i>Деревянко В.Н., Гришко А.Н., Чушкина И.В.</i>	23
Предпланирование эксперимента для исследования свойств песчаного бетона <i>Довгань А.Д., Довгань П.М., Ляшенко Т.В.</i>	26
Моделирование локальной анизотропии поровой структуры композитного материала <i>Довгань И.В., Колесников А.В., Семенова СВ., Дмитренко М.П.</i>	30
Вплив захисного покриття на тріщинності бетону під впливом високих температур <i>Дума В.О., Турба Ю.В., Позняк О.Р.</i>	34
Угловые распределения локальных тепловых потоков и их корреляция с эффективной теплопроводностью в двухфазных композитах <i>Загинайло И.В., Писаренко А.Н., Максименюк Я.А.</i>	37
Експериментально-статистическе моделювання впливу рецептури гіпсосодержащого композита на його пористу структуру <i>Керш В.Я., Колесников А.В., Хлыцов Н.В.</i>	42