

**СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИАЛОВ
МЕТОДОМ КВАДРАТНЫХ СЕТОК**

**Довгань И.В., д.х.н., проф, Колесников А.В., ст.преп.,
Семенова С.В., к.т.н., доц., Дмитренко М.П., ст.преп.,
Кириленко Г.А., асс.**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
Одесса, Украина*

Явления самоорганизации, наблюдаемые в живой природе и технике, проявляются во многих формах и закономерностях. Не является исключением и мир минералов и их производных – материалов и, в частности, строительных композитов на их основе. Во многих случаях анализ процессов самоорганизации удается использовать с целью оптимизации рецептуры и технологии.

В целом, под самоорганизацией следует понимать совокупность процессов и явлений, в которых рассматриваемая система проявляет целостные характеристики и взаимодействие подсистем отлично от случайного. В композиционных материалах это, в частности, может проявляться в тенденциях к перераспределению частиц компонентов, а также к образованию пор и внутренних границ раздела в соответствии с закономерностями, отличающимися от случайных, задаваемых, например, пуассоновскими или биномиальными законами. На каждом фиксируемом масштабном уровне такое отклонение может быть разных видов (рис. 1).



Рис.1 Характер распределения точек на плоскости

Если между частицами преобладают силы притяжения, наблюдается образование их скоплений – кластеров. При противоположной тенденции происходит образование квазирегулярных структур в связи с принципом максимального расталкивания. Такое распределение легко получить, сообщая подвижным частицам одноименный заряд.

Для целого ряда материалов наблюдаемые с помощью оптических методов структуры носят характер небольших частиц, пор и других объектов. Такой материал может быть исследован разными методами. Например, рассматриваемые малые объекты могут быть проанализированы с помощью оптических методов – компьютерной микроскопии. Для них оказывается возможным найти распределение по площадям, размерам, углам наклона. Эти методы изучения дополняет рассматриваемая здесь процедура, связанная с главными предположениями:

1. Размеры исследуемых объектов малы, ими можно пренебречь и основываться на их отображении в виде отдельных точек.

2. Таких объектов в рассматриваемом препарате не слишком много. В противном случае начинает играть роль фактор упаковки, и геометрией объекта пренебречь нельзя.

Рассмотрим возможные варианты точечных объектов такого вида:

- Частицы составляющих композита. Исследование облегчается, если они окрашены в разные цвета либо отличаются градацией серого.

- Поры. Поскольку используется точечное приближение, нет необходимости в стереологической реконструкции пористой структуры наблюдаемого объекта.

- Проекция трещин и внутренних границ раздела на скол или шлиф. Для таких объектов применить точечное приближение можно лишь после машинной сегментации изображений рассматриваемых линий и поверхностей.

- Минеральные новообразования или поверхности раздела, проявляемые специальной обработкой (например, фенолфталеином для извести в цементном камне, танином для трещин) .

Рассмотрим процесс исследования таких структур в алгоритмизированном виде.

С помощью микроскопа с электронным окуляром, переделанной для режима макросъемки веб-камеры и подобного оборудования получают микрофотографии шлифа или гладкого плоского скола исследуемого материала. Далее при необходимости препарат может быть подготовлен соответствующим способом (например, цементный камень обработан фенолфталеином). В качестве примера реализации рассматриваемого алгоритма рассмотрим обработку микрофотографии штукатурного материала на основе гипса и перлита [1] (рис.2).

Дальнейшая обработка может быть проведена с помощью таких бесплатных программных продуктов, как Nih Image, ImageJ и его производные, Image Tools и многих коммерческих (например, Optimas). В данном случае была использована программа Nih Image

1.62Fat, ставшая классической в области медицины и биологии, запускаемая в среде эмулятора компьютера «Макинтош» Executor 2.0. Для нее был написан макрос пакетной обработки файлов микрофотографий. После операции вычитания фона осуществляется пороговое разделение изображения (Threshold). Затем производится фильтрация, позволяющая удалить шумовое изображение, создаваемое несвязанными пикселями. Изображение бинаризируется и строятся точки конечной эрозии (Ultimate eroded point). После порогового разделения и бинаризации на экране проявляются небольшие кластеры пикселей, соответствующих в большинстве случаев центральной области исходных объектов (рис.3).

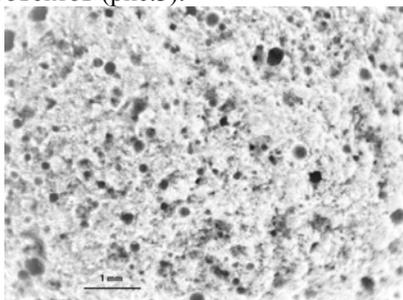


Рис.2. Микрофотография материала с вычитанием уровня фоновой освещенности (масштабная метка – 1мм)

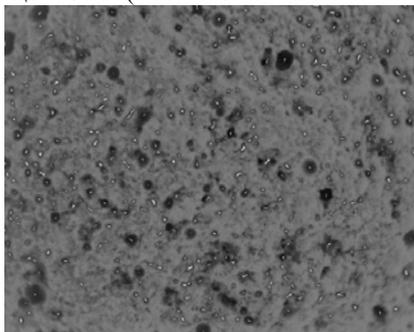


Рис.3. Точки конечной эрозии, наложенные на исходное изображение

Такие объекты удастся проанализировать в автоматическом режиме и вывести значения их координат (другие их параметры при рассматриваемом подходе не требуются) в файл (рис.4).

Третий этап анализа структуры проводится с помощью программ анализа расположения точек на плоскости и пространстве (PPA (DOS), Past – палеонтологическая программа, Ppa и другие. Последнюю удобно запускать на том же эмуляторе. Рассмотрим результаты ее

работы, отображенные графически. Анализ точечных рапределений можно провести методом квадратной сетки (анализ квадратов). На точечное изображение накладывается квадратная сетка со стороной а (1).



Рис.4. Точки конечной эрозии, координаты которых определяются

$$a = \sqrt{2 \cdot \frac{\text{Площадь препарата}}{\text{Число точек}}} \quad (1)$$

На рис.5 показан пример такого построения.

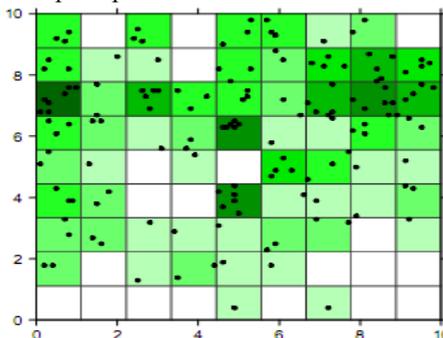


Рис.5. Анализ статистических характеристик методом квадратов

Далее выполняется расчет числа событий (в рассматриваемом случае – частиц или пор) в каждом квадрате и рассматриваемые частоты обрабатываются статистически (рис. 6)

Существенные для принятия решения данные могут быть выведены в качестве итога анализа (рис.7).

Индекс дисперсии [2] или фактор Фано определяется как отношение дисперсии к среднему значению частоты

$$D = \frac{\sigma^2}{\mu} \quad (2)$$

Number of points 676
 horizontal tile number 20
 vertical tile number 20
 Mean by tile 3.378
 STD 2.316

DISPERSION INDEX = 1.588
 LEFKOVITCH'S INDEX = 0.285
 T statistic = 28.072
 Degrees of freedom 399

Your data suggest a **CLUSTERED DISTRIBUTION (P= 0.001)**

FREQUENCY TABLE	
Number	Frequency
0	126
1	116
2	254
3	56
4	158
5	7
6	57
7	0
8	18
9	0
10	7
11	0
12	1
13	0

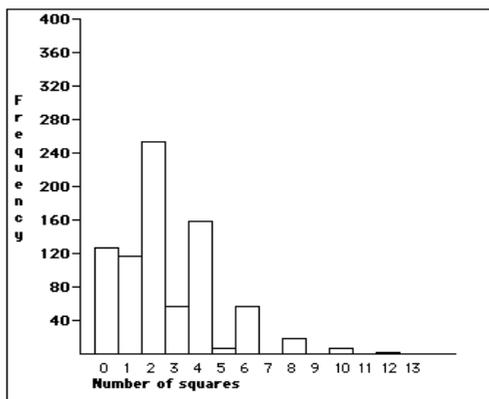


Рис. 6. Результаты статистического анализа методом квадратов

1) General data

Number of points 676
 Density 18 cells/mm2

2) Indices

Dispersion Index 2.389
 Lefkovith's Index 0.495
 Packing Factor 0.067
 Eberdhart Index 1.185
 Means/STD Index 2.323
 Equilateral Index ----

	Random	Meaning Regular	Clustered
Dispersion Index	= 1	< 1	> 1
Lefkovith's Index	= 0	- 1	+ 1
Packing Factor	= 0	+ 1	
Eberdhart Index	1.27	< 1.27	> 1.27
Means/STD Index	close to 0	> 0	
Equilateral Index	close to 1	close to 0	

Рис.7. Итоги и граничные значения статистического анализа точечного образа

Если $D = 1$, образ является случайным. Это означает, набор данных не имеет доминирующую тенденцию к кластеризации или дисперсии. Если $D < 1$, точечный образ имеет регулярную структур, т.е точки распределены в наблюдаемой области более или менее регулярно. Индекс дисперсии зависит от величин средних значений, поэтому применяется дополнительный критерий – индекс Лefковича [3] (в радианах):

$$\Delta = \frac{4}{\pi} \arctg \frac{s^2}{\sigma^2} - 1 \quad (3)$$

Здесь s^2 – вариация частот в рассматриваемом образце, σ^2 – вариация случайных распределений, для распределения Пуассона подставляется значение среднего, $\sigma^2 = m$. Как для индекса дисперсии, если $\Delta=0$ – случайное распределение, $\Delta=-1$ – регулярное и $\Delta=1$ – кластерное.

Индекс Эбернхарда [3] (4) также позволяет на основе знания стандартного отклонения S расстояний и среднего значения от случайной до исследуемой точки \bar{x} оценить степень группирования объектов.

$$I_E = \left(\frac{S}{\bar{x}} \right)^2 + 1 \quad (4)$$

Соответствующие граничные значения указаны на рис. 7. Все основные статистические характеристики указывают на высокую вероятность кластерообразования в рассматриваемом образце.

Характер взимного расположения частиц можно выявить из диаграммы распределения расстояний между частицами (рис.8). Здесь по величинам максимумов плотности удастся найти приближенное расположение координационных сфер (приблизительно 100 и 150 мкм) и значение среднего эффективного радиуса [5], характеризующего размер «мертвого» пространства вокруг исследуемого объекта.

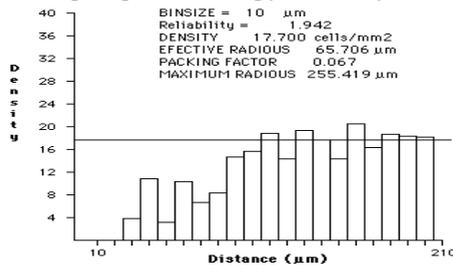


Рис.8. Диаграмма распределения расстояний между частицами

Заключение

Таким образом, на основе статистической обработки микрофотографий и других подобных изображений структуры материала удастся последовательным применением компьютерной обработки изображений и статистической обработки точечных геометрических образов выявить характерные структуры

рассматриваемого материала и указать условия их неслучайного распределения.

Summary

The article deals with image processing algorithm for building materials to statistically explore his point of singularities - pores and particles of components. Image processing allows us to go to the array of coordinates of these features. Application of the method of square grids reveals the statistical regularities of distribution of studied dot structures in sections or chipped material. In some cases, they may be interpreted as a consequence of collective self-organization processes, occurred mainly in the initial stages of structure formation.

Литература

1. V. Kersh, A. Kolesnikov, T. Lyashenko, M. Pidkapka, «Structurally oriented design of the heat insulation plastering material», Proc. Of International conference of Advanced HVAC & Natural Gas Technology", May 6-9, 2015, Riga, Latvia, in press, 4p.
2. P. G. Hoel, (1943). "On Indices of Dispersion". Annals of Mathematical Statistics 14 (2): 155–162.
3. K. W. Duncan, "A modification to Lefkovitch's index of spatial distribution.", Proceedings of the New Zealand Ecological Society ,1972, v. 19, 158-162 pp.
4. C. J. Krebs, Ecological Methodology,1999, 2nd ed., Addison-Welsey Educational Publishers, Inc., Menlo Park, 620 pp.
5. Rodiek, R.W. "The density recovery profile: A method for the analysis of points in the plane applicable to retinal studies", Visual Neuroscience,1995, v.6, 95-111 pp.