

УДК 678.023.3

**ПРОГРАМНО-ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯЧЕИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ**

Ю. А. БУДАШ

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Д.А. МАЛЮТИН, Д. В. ХАРИТОНОВ

Брестский центр молодёжного творчества (Беларусь)

*Запропоновано програмно-графічний метод визначення морфологічних характеристик чарункових полімерних систем (ЧПС). На прикладі двомірних модельних систем показано застосовність методу для визначення основних морфологічних характеристик ЧПС. Метод дає можливість виявити розбіжності в характеристиках чарунок залежно від типу моделей і початкових умов їх побудови*

Возможность использования методов анализа изображений для изучения морфологии ячеистых полимерных систем (ЯПС) сопряжена с рядом специфических методических сложностей. В связи с этим, для разработки и оценки компьютерно-графического метода целесообразно использовать модельные системы, морфологические характеристики которых явно определяются алгоритмом и параметрами построения. Это дает возможность сопоставить получаемые результаты с начальными условиями, задаваемыми исследователем на стадии построения.

Вопрос моделирования пенопластов является фундаментальным при рассмотрении взаимосвязи свойств и структуры газонаполненных пластмасс. Решение этой задачи дает возможность количественно связать параметры их макроструктуры и свойства в реальных условиях эксплуатации [1].

***Объекты и методы исследований***

Основной объем исследований был выполнен с использованием двумерных графических моделей ЯПС, полученных по различным алгоритмам [2]. В работе применялись методы компьютерного моделирования с использованием последовательности статистически случайных чисел. Для исследования полученных моделей использовали метод анализа изображений [3] в программе Image Tool [4] и статистической обработки полученных данных.

***Постановка задания***

Целью данной работы являлось: 1. Разработка программно-графического метода определения морфологических характеристик ЯПС. 2. Исследование применимости программно-графического метода для определения морфологических характеристик на примере модельных ЯПС.

***Результаты и их обсуждение***

Для построения модельных ЯПС использовались различные алгоритмы [2], позволяющие получать модели с различным распределением ячеек по размерам, форме, степени перекрытия ячеек. Использовалась следующая последовательность программных операций при анализе изображений ЯПС.

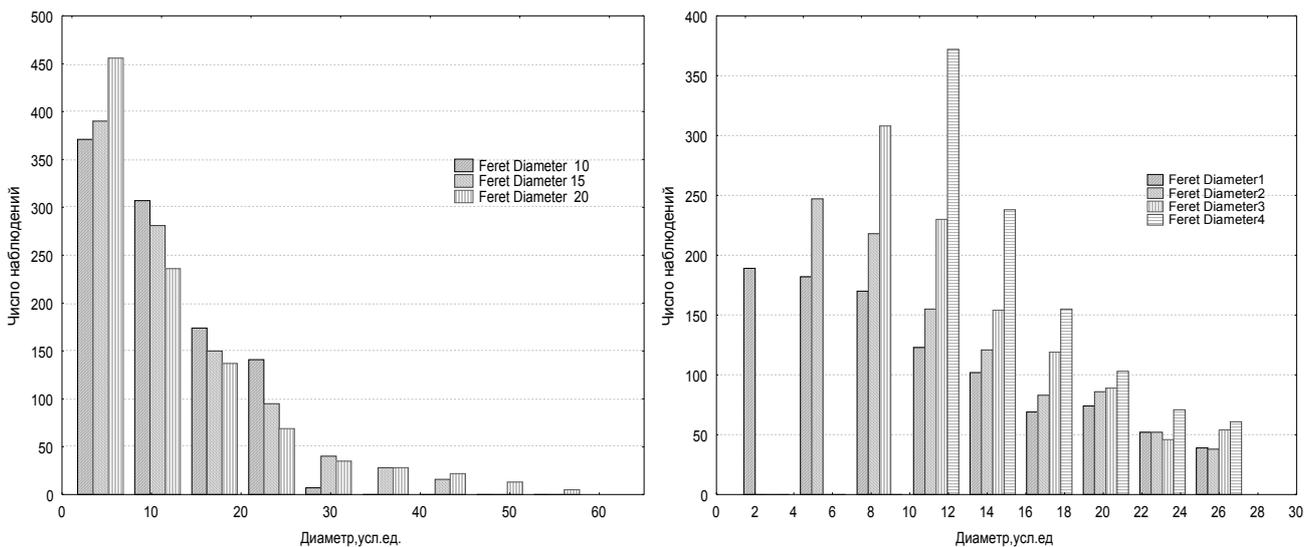
1. Генерация оверлейного слоя для исходного изображения, исходя из минимального и максимального уровня яркости пикселей, относящихся к основным анализируемым объектам структуры.
2. Разделение объектов с помощью операций эрозии и размывания. При этом границы объектов уменьшались по заданному примитиву.
3. Восстановление границ объектов по заданному примитиву с помощью операции дилатации, исключающей слияние объектов и изменение их формы.

4. Удаление краевых объектов, размеры которых могут быть нарушены границей изображения.
5. Уменьшение «шума» изображения путем удаления объектов, размером один пиксель.
6. Заполнение «дырок», находящихся внутри объектов, путем их заливки.
7. Определение количества объектов, расположенных на оверлейном слое.
8. Определение основных морфологических характеристик объектов.
9. Экспорт полученных показателей в виде табличных данных и их статистическая обработка.

**Характеристики модельных ЯПС с круглыми ячейками при изменении диапазона размеров ячеек**

Гистограммы распределения ячеек по диаметру Фере при различной верхней и нижней границе размеров ячеек в модельных системах представлены на рис. 1, из которого видно, что при увеличении верхней границы происходит увеличение количества ячеек с наименьшим размером и расширение диапазона размера в целом в сторону ячеек с большим размером.

Распределение становится более острым, что подтверждается и средними статистическими показателями ячеек. Так, при увеличении верхней границы с 10 до 20 величина эксцесса распределения увеличивается в несколько раз.



**Рис 1. Распределение ячеек по диаметру Фере в модельных системах при различной верхней *a* и нижней *b* предельной границе размера ячеек**

Происходит расширение диапазона средних значений диаметра и площади. В то же время наиболее вероятный размер ячеек остается примерно постоянным. Характер распределения ячеек по размерам качественно совпадает с характером распределения, установленного для реальных систем, например пенополиуретанов [1]. В отличие от первого случая изменение нижней границы увеличивает наиболее вероятный размер ячеек примерно в 2,5 раза. Одновременно идет уменьшение диапазона размеров примерно в 2 раза.

**Характеристики модельных ЯПС с круглыми ячейками при изменении параметра обводки**

Изменение параметра обводки *Z* для модельных ЯПС позволяет варьировать степень пересечения ячеек друг с другом. Влияние данного параметра на средние статистические показатели модельных систем приведены на рис. 2.

Исследования показали, что изменение параметра обводки позволяет переходить от систем с полностью изолированными ячейками ( $Z=0$ , число ячеек  $n=1000$ ) к системам, где все ячейки соединены друг с другом ( $Z=2,5$ ,  $n=1$ ). В результате происходит изменение практически всех средних статистических показателей. Диаметр и площадь ячеек увеличиваются, а их компактность и округлость уменьшаются. Характерно, что показатель удлинения экстремальным образом зависит от значения  $Z$ . Это можно объяснить тем, что при слиянии двух ячеек за счет увеличения их диаметра поперечный размер объединенной ячейки на конечной стадии растет быстрее, чем его продольный размер. Рост стандартной ошибки показывает увеличение разброса значений для всех показателей относительно среднего.

**Характеристики модельных ЯПС с гексагональными ячейками**

Влияние параметра отклонения на распределение ячеек по диаметру Фере приведено на рис 3.

Исследования средних статистических показателей позволили установить, что с ростом степени отклонения среднего показателя диаметра и площади, удлинение и компактность уменьшаются

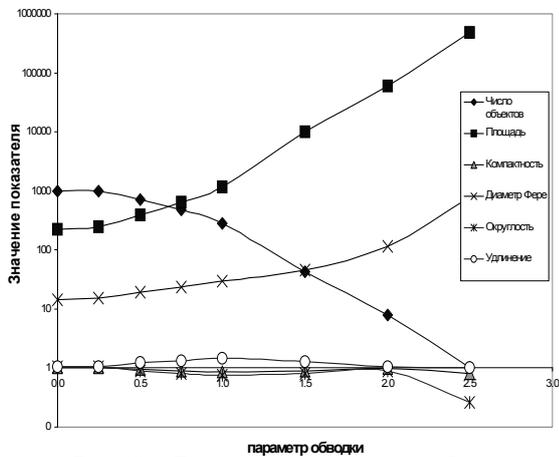


Рис. 2. Влияние параметра обводки на средние статистические показатели модельных ЯПС с круглыми ячейками.

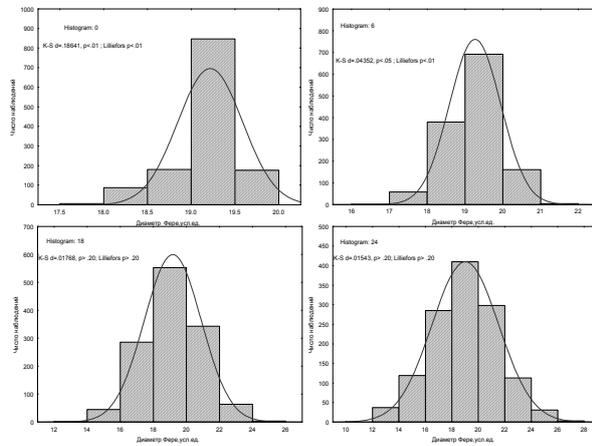


Рис.3. Изменение распределения по диаметру Фере для систем с гексагональными ячейками при увеличении показателя

незначительно. В то же время показатель округлости заметно снижается. Распределение ячеек по диаметру Фере с увеличением параметра отклонения приближается к нормальному. Об этом же свидетельствует и уменьшение значений эксцесса и асимметричности, а также расширение диапазона значений диаметра Фере. Наиболее вероятное значение таких показателей, как диаметр Фере, площадь, удлинение и компактность уменьшаются слабо, в то время как показатель округлости несколько уменьшается.

Проведенные исследования показывают применимость компьютерно-графического метода для определения основных морфологических характеристик ЯПС. Метод позволяет выявить различия в характеристиках ячеек в зависимости от начальных условий их построения и типа моделей.

**Выводы**

1. Предложен программно-графический метод определения основных морфологических характеристик ЯПС и определены необходимые параметры его отдельных стадий.
2. На примере различных модельных систем показана применимость метода для определения основных морфологических характеристик ЯПС. Метод позволяет выявить различия в характеристиках ячеек в зависимости от типа моделей и начальных условий их построения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлин А. А., Шутов Ф.А. Химия и технология газонаполненных высокополимеров. – М.: Наука, 1980. – 504 с.
2. Будащ Ю.А., Малютин Д.А., Харитонов Д. В. Компьютерно-графическое моделирование ячеистых полимерных систем // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2007. – № 4. – с.251–255.
3. Pratt, William K. Digital image processing. 4th ed. –A Wiley-Interscience publication, –2007. – 786 p.
4. UTHSCSA ImageTool-free image processing and analysis program.http: // ddsdx.uthscsa.edu /dig/itdesc.html.

Надійшла 25.09.2009