

УДК 514.112.4+539.2

ПРИНЦИП ОБЪЕКТИВНО ПРЕДОПРЕДЕЛЕННОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВА ВНУТРИ МНОГОУГОЛЬНИКОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНИКЕ

А.С. Неверов¹, Л.С. Пинчук², А.Н. Старовойтов¹, Д.Н. Шевченко¹

¹Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

²Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель

THE PRINCIPLE OF THE OBJECTIVE PREDESTINED LOCALIZATIONS OF SPACE IN POLYGONAL FIGURE OF THE FREE FORM AND ITS APPLICATION IN TECHNOLOGY

A.S. Neverov¹, L.S. Pinchuk², A.N. Starovoitov¹, D.N. Shevchenko¹

¹Belarusian State University of Transport, Gomel

²V.A. Belyi Metal Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel

Предложена система геометрических построений, позволяющая выделить внутри плоского многоугольника участок, форма и местоположение которого закономерно определяются только формой многоугольника, а размеры – величиной шага h построений. При $h \rightarrow 0$ участок превращается в точку, которая не является центром инерции многоугольника. Показано, что частицы дисперсных систем, перемещающиеся под действием внешних сил по предложенной схеме, концентрируются в локальной области, координаты которой заданы расположением источников внешних сил. Приведены примеры использования этого принципа в технологиях формирования и обработки материалов.

Ключевые слова: локализация пространства, дисперсные системы.

We present a system of geometric constructions, which allows us to select an area inside a flat polygon. The form and the location of the area in the polygon are normally defined only by the form of the polygon, and the sizes are defined by the value of the h -constructions' step. When $h \rightarrow 0$ the area degenerates into a point, which is not the centre of inertia of the polygon. It is shown that the particles of dispersional systems moving under the influence of external powers on the given scheme are concentrated in a local area and coordinates are given by the location of the external power sources. The examples of usage of this principle are given in technology of shaping and processing materials.

Keywords: localization of space, dispersion systems.

Введение

В практике экспериментальных исследований, на производстве и даже в быту нередко встречаются ситуации, когда возникает необходимость без использования сложных математических построений и специального оборудования локализовать некоторую область пространства, переместить в эту область какие-либо предметы или вещества или, наоборот, извлечь их из этой области.

Цель работы состоит в том, чтобы определить систему геометрических построений, позволяющих выделить внутри многоугольника произвольной формы геометрическое место точек, координаты которого предопределяются формой исходного многоугольника, и показать возможность использования установленных закономерностей для оптимизации технологических процессов формирования и обработки технических материалов.

1 Методика и основные закономерности построений

Вблизи исходного треугольника ABC произвольной формы (рисунок 1.1) выберем любую

точку S . Направим из точки S луч на вершину A и отложим на нем отрезок SD , длина которого равна выбранному шагу h . Из точки D направим луч на следующую по часовой стрелке вершину B и отложим отрезок DE длиной h . Затем проведем луч EC и получим отрезок EF . Повторение этих операций (итерация) приводит к тому, что отрезки располагаются все ближе друг к другу, постепенно приближаясь к какому-то определенному положению. При бесконечном увеличении числа итераций образуется вторичный равнобедренный треугольник XYZ с длиной стороны h .

Выполнение этой процедуры в разных вариантах позволило обнаружить следующие закономерности:

1) каждая из сторон вторичного треугольника направлена на одну из вершин исходного треугольника ABC ;

2) форма и местоположение вторичного треугольника XYZ не зависит от координат начальной точки S , но зависит от очередности перемещений к вершинам исходного треугольника (по часовой стрелке: $A-B-C$, или против часовой стрелки $A-C-B$) и длины шага h ;

3) если аналогичную процедуру выполнить, двигаясь от одной вершины к другой против часовой стрелки, то в результате образуется треугольник UVW , который имеет те же свойства, что и треугольник XYZ , но другие координаты вершин. Пример такого построения показан на рисунке 1.2.

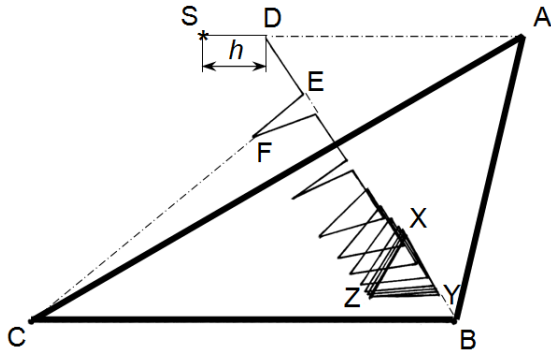


Рисунок 1.1 – Схема построений: вторичный треугольник XYZ получен перемещениями, совершаемыми по часовой стрелке относительно вершин A, B, C из начальной точки S

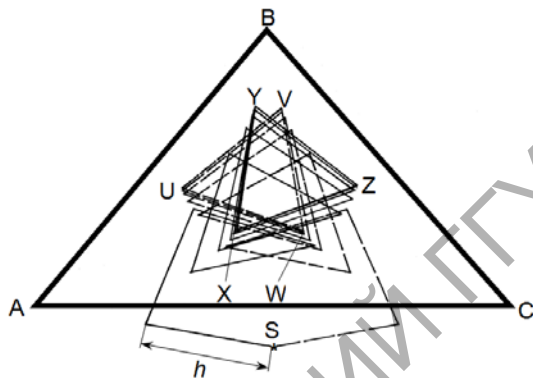


Рисунок 1.2 – Итог построений, выполненных при движении относительно вершин A, B, C по (ΔXYZ) и против (ΔUVW) часовой стрелки; S – точка начала построений

Аналогичные закономерности характерны для исходных фигур в виде 4-, 5- и 6-угольников (рисунок 1.3): вторичные фигуры представляют собой равносторонние (длина стороны равна шагу h) 4-, 5- и 6-угольники, свойства которых подобны свойствам вторичных треугольников.

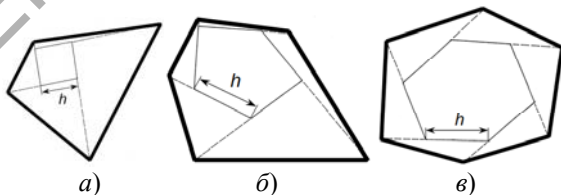


Рисунок 1.3 – Вторичные фигуры, полученные путем итераций с шагом h в 4-угольнике (а), 5-угольнике (б) и 6-угольнике (в)

2 Аналитическое решение

Вычислим аналитически координаты вершин вторичного треугольника на основании того, что его вершины X, Y, Z лежат на отрезках AZ, BX, CY соответственно (рисунок 2.1).

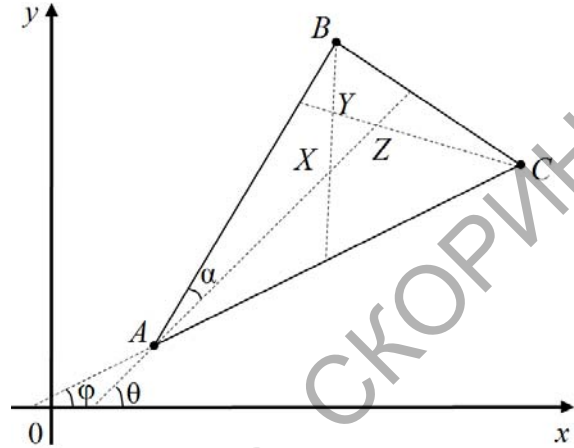


Рисунок 2.1 – Взаимное расположение первичного и вторичного треугольников

Из треугольников AXB и BYC найдем:

$$BX = \frac{AB \sin \alpha}{\sin(2\pi/3)},$$

$$BY = \frac{BC \sin(2\pi/3 - \angle B - \alpha)}{\sin(2\pi/3)}.$$

Приведенные выражения имеют смысл лишь в том случае, когда $\angle B < 2\pi/3$. А поскольку эти рассуждения справедливы для любого угла треугольника ABC , то любой из углов должен быть меньше $2\pi/3$.

Тогда

$$BX - BY = \frac{AB \sin \alpha}{\sin(2\pi/3)} - \frac{BC \sin(2\pi/3 - \angle B - \alpha)}{\sin(2\pi/3)} = h.$$

Откуда

$$AB \sin \alpha - BC \sin(2\pi/3 - \angle B - \alpha) = h \sin(2\pi/3), \quad (2.1)$$

$$0 < \alpha < \angle A.$$

Решая (2.1), найдем угол α и получим ограничение на длину шага h , при котором указанное решение существует:

$$h^2 < 4/3(AB^2 + 2AB \cdot BC \cos(2\pi/3 - \angle B) + BC^2). \quad (2.2)$$

Неравенство (2.2) выполняется, например, когда

$$h^2 < 4/3(AB^2 - 2AB \cdot BC + BC^2) = 4/3(AB - BC)^2.$$

Или

$$h < 2/\sqrt{3} |AB - BC|. \quad (2.3)$$

Подчеркнем, что неравенство (2.3) является довольно грубым, поскольку в уравнении (2.2) нами принято допущение, что $\cos(2\pi/3 - \angle B) > -1$.

Неравенство (2.3) должно выполняться для любых сторон треугольника ABC , следовательно, $h < 2/\sqrt{3} \min\{|AB - BC|, |BC - CA|, |CA - AB|\}$.

Используя формулы аналитической геометрии, по углу α и координатам вершин треугольника $A(a_1, b_1)$, $B(a_2, b_2)$, $C(a_3, b_3)$ найдем углы φ и θ :

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b_1 - a_1}{b_3 - a_3}, \quad \theta = \varphi + \angle A - \alpha.$$

Тогда координаты точек $X(x_1, y_1)$, $Y(x_2, y_2)$ и $Z(x_3, y_3)$:

$$x_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} AB \sin(\pi/3 - \alpha) \cos \theta + a_1,$$

$$y_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} AB \sin(\pi/3 - \alpha) \sin \theta + b_1;$$

$$x_3 = (2/\sqrt{3} AB \sin(\pi/3 - \alpha) + h) \cos \theta + a_1,$$

$$y_3 = (2/\sqrt{3} AB \sin(\pi/3 - \alpha) + h) \sin \theta + b_1;$$

$$x_2 = \frac{a_2 + \lambda x_1}{1 + \lambda}, \quad y_2 = \frac{b_2 + \lambda y_1}{1 + \lambda},$$

где $\lambda = \frac{2BC \sin(2\pi/3 - \angle B - \alpha)}{h\sqrt{3}}$.

Подобный аналитический подход применим для произвольных выпуклых многоугольников.

Представленные результаты справедливы, если каждый из углов исходного треугольника меньше 120° и выполнено условие (2.2). В противном случае вторичная фигура имеет вид, представленный на рисунке 2.2.

На рисунке 2.3 показано изменение вторичной фигуры при последовательном увеличении одного из углов треугольника от значения меньше 120° (крайняя левая фигура) до значений больших 120° , но меньших (три следующих фигуры) или равных 180° (крайняя правая фигура).

Вторичная фигура замкнутой формы может образовываться даже в том случае, если величина шага периодически изменяется в определенной последовательности. Например, на рисунках 2.4 и 2.5 приведены вторичные фигуры для исходного треугольника с координатами вершин $a_1 = 15, b_1 = 20; a_2 = 10, b_2 = 10; a_3 = 20, b_3 = 10$ при изменении шага в последовательности 1, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2 ... (рисунок 2.4) и 1, 1, 1, 2, 2, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2 ... (рисунок 2.5).

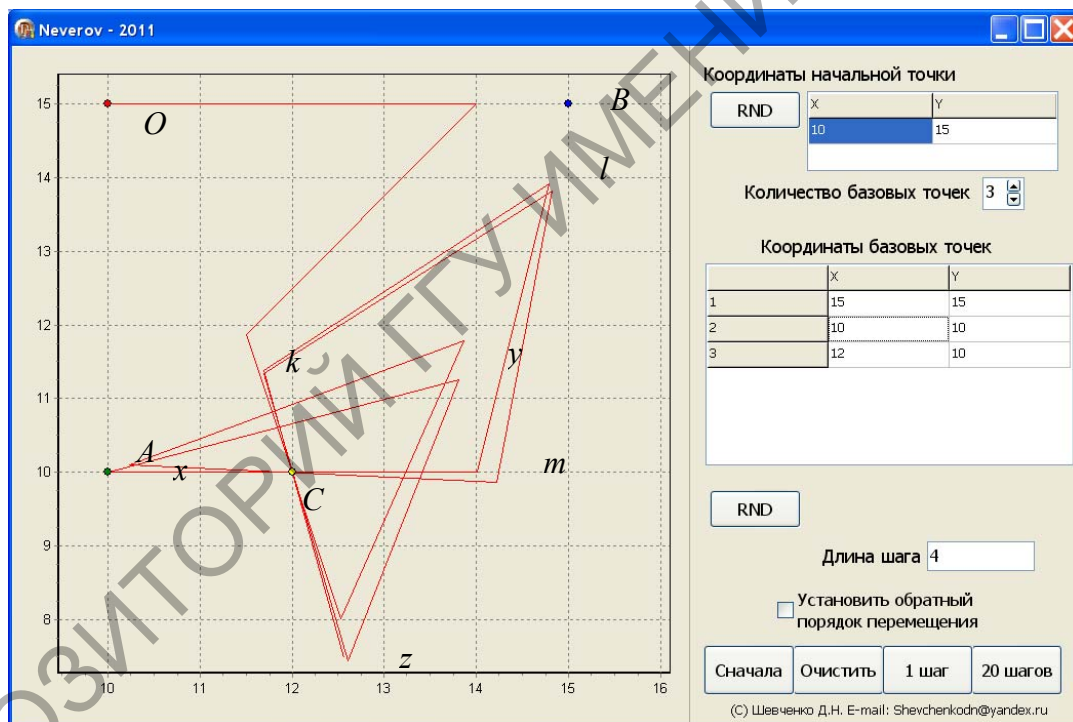


Рисунок 2.2 – Компьютерное построение вторичной фигуры $luxklm$ для исходного треугольника ABC , один из углов которого больше 120° ; точка O – начало построения



Рисунок 2.3 – Изменение вторичной фигуры при последовательном увеличении одного из углов треугольника от $\alpha < 120^\circ$ до $\alpha = 180^\circ$

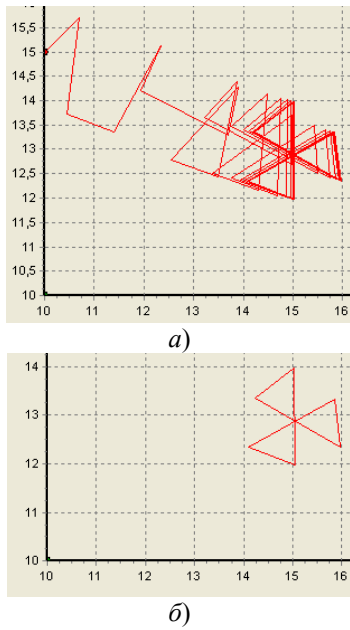


Рисунок 2.4 – Построение вторичной фигуры (а) и конечный результат построения (б) при изменении шага в последовательности 1, 2, 1, 2, 1, 2, и т. д.

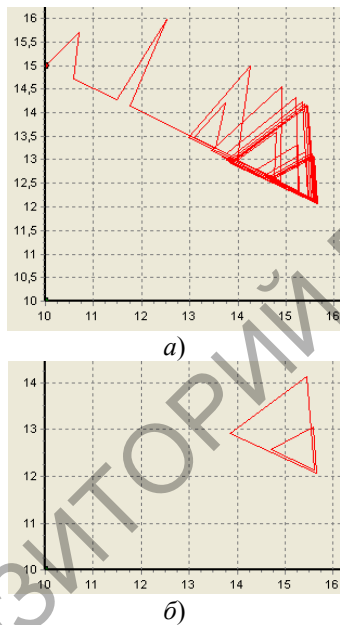


Рисунок 2.5 – Построение вторичной фигуры (а) и конечный результат построения (б) при изменении шага итераций в последовательности 1, 1, 1, 2, 2, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2 и т. д.

3 Зависимость результатов построения от длины шага

Первое предположение для объяснения закономерностей расположения вторичных фигур внутри произвольно выбранного многоугольника состоит в том, что эта фигура «содержит» центр инерции (масс, тяжести) многоугольника. Однако построения, выполненные для многоугольников различной формы, показали, что центры

инерции первичной и вторичной фигур обычно не совпадают, гораздо чаще центр инерции первичного неправильного многоугольника находится вне вторичной фигуры. Совпадение имеет место только в правильных первичных фигурах, что будет показано позже.

Идентичные итерации на неправильном треугольнике, выполненные с разными шагами h , обнаружили следующее (рисунок 3.1): каждая вторичная фигура, построенная с шагом h_1 , располагается внутри такой же фигуры, шаг которой $h_2 > h_1$; стороны вторичных треугольников не параллельны, а их вершины находятся на дугах окружностей с центрами O_1, O_2 и O_3 .

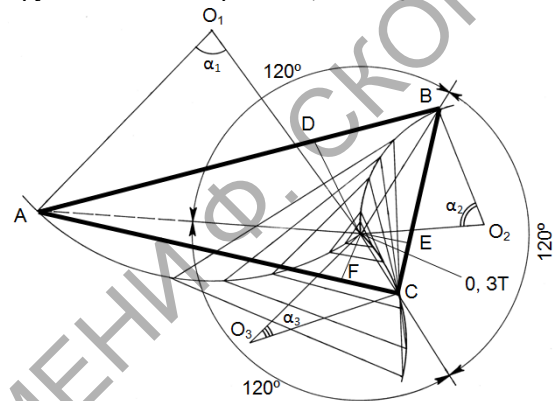


Рисунок 3.1 – Расположение вершин вторичных треугольников, построенных с разными шагами

Очевидно, что при $h \rightarrow 0$ вторичная фигура превратится в точку, которую назовем «золотая точка» (ЗТ). Смысл этого названия будет пояснен позже. Видно, что ЗТ находится на пересечении дуг окружностей, являющихся геометрическим местом вершин вторичных треугольников, построенных с разными h . Сумма углов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ секторов этих окружностей, ограниченных вершиной исходного треугольника и ЗТ, равна сумме углов треугольника – 180° . Лучи, исходящие из ЗТ и направленные на вершины треугольника ABC , расположены под равными углами 120° друг к другу. Не совпадающие друг с другом вторичные треугольники, которые образуются при итерациях, выполненных с одинаковым шагом h по и против часовой стрелки, при уменьшении h сближаются и практически совпадают. При $h \rightarrow 0$ они превращаются в ЗТ, которая у каждого исходного треугольника только одна.

В правильном треугольнике ЗТ и центры инерции первичной и всех вторичных фигур, построенных с разными шагами, совпадают (рисунок 3.2).

К сожалению, замечательные свойства треугольников, обусловленные наличием у них ЗТ, не являются общим свойством всех плоских фигур. Однако существует совокупность многоугольников, вершины которых находятся на лучах, исходящих из одной – «золотой» – точки и расположенных под равными углами друг к другу.

Для них справедливы закономерности, установленные для треугольников, о чем свидетельствует рисунок 3.3.

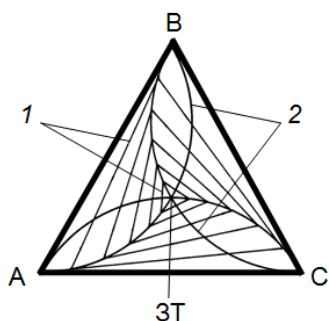


Рисунок 3.2 – Совпадение центров инерции и ЗТ всех фигур в правильном треугольнике ABC : 1 – вторичные фигуры; 2 – дуги окружностей, проходящих через вершины и центр инерции $\triangle ABC$

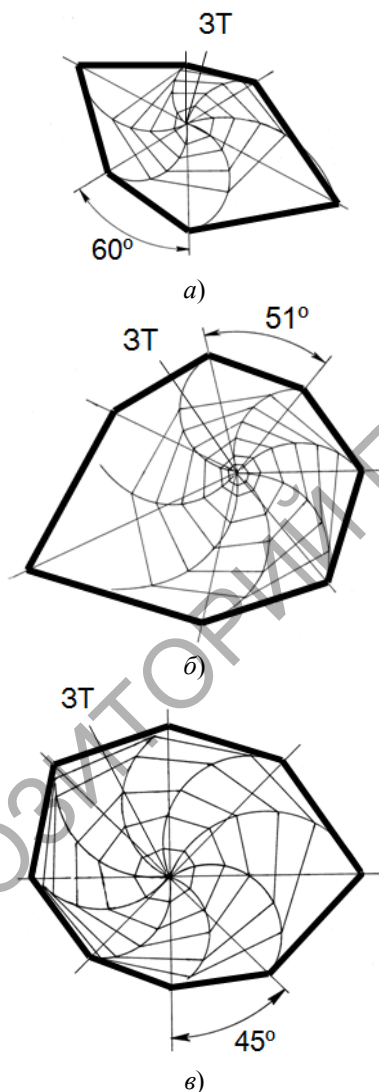


Рисунок 3.3 – Расположение вторичных фигур в многоугольниках, имеющих ЗТ: а) – 6-угольники, б) – 7-угольники, в) – 8-угольники

Итак, ЗТ привносит признаки симметрии в неправильные многоугольники, упорядочивая ограниченное ими пространство. Для этих фигур ЗТ является второй после центра инерции универсальной геометрической характеристикой.

Критерием гармонии линейных размеров на протяжении веков служит «золотое сечение» – деление отрезка на две части таким образом, что отношение их длин соответствует замечательной непрерывной дроби, значения которой – $1/1, 1/2, 2/3, 3/5, 5/8, 8/13, 13/21$ и т.д., где 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 и т.д. – так называемый ряд Фибоначчи (1202, L. Fibonacsi, он же Леонардо Пизанский – итальянский математик). В этом ряду каждое число равно сумме двух предыдущих чисел. Интерес к «золотому сечению» (термин ввел Леонардо да Винчи) ученые и художники проявляют со времен Эвклида. Это обусловило универсальное применение его в математике, архитектуре и изобразительном искусстве. В средние века «золотое сечение» считали идеальной пропорцией, характерной для всех совершенных творений природы и произведений искусства [1]. Было бы логичным в пропорциях, задаваемых ЗТ, найти признаки «золотого сечения».

Анализ показал, что на рисунке 3.1 пропорционально числам Фибоначчи делятся отрезки прямых, проведенных из вершин треугольника через ЗТ до пересечения с противоположной стороной треугольника: $AO/OE = 13/2, BO/OF = 3/1, CO/OD = 2/3$. Стороны треугольника делятся этими точками пересечения аналогичным образом: $AD/DB = 8/3, CE/BE = 1/2, AF/FC = 5/1$.

Остался невыясненным математический смысл точек, в которые при уменьшении h сходятся вторичные фигуры многоугольников, не имеющих ЗТ. Такими же многоугольниками являются, кстати, треугольники, у которых один из углов больше 120° . Этот вопрос нуждается в дальнейшем исследовании.

4 Технические приложения

Представим себе дисперсную систему, находящуюся внутри многоугольника, в вершинах которого установлены источники энергии, приводящие частицы в движение. Если передвигать частицы по предложенной выше схеме, они будут концентрироваться в определенной площади, заданной формой многоугольника и шагом передвижения частиц. На этом основана большая группа технологических методов формирования и переработки дисперсных материалов.

Модифицирование коллоидных растворов – один из ключевых процессов нанотехнологий [2]. Их успех в большой мере зависит от регулирования числа частиц дисперсной фазы в единице объема раствора. Это является инструментом для «запуска» поверхностных явлений – адсорбции, образования двойного электрического слоя

и обусловленных ими электрокинетических явлений, контактных взаимодействий частиц [3].

Коллоидный раствор в виде магнитной жидкости (МЖ) находится (рисунок 4.1) в цилиндрической емкости диаметром d , выполненной из диамагнетика, по периметру которой установлены электромагниты (ЭМ). Они включаются и выключаются по программе, задаваемой ЭВМ так, чтобы магнитная частица двигалась к одному из ЭМ на величину шага $h_1 < d$, затем к следующему (по или против часовой стрелки) ЭМ на эту же величину и т. д. Спустя некоторое время магнитные частицы сконцентрируются на определенном участке в центральной зоне емкости. Это дает возможность создать в коллоидном растворе градиент концентрации частиц, отобрать концентрированную фазу частиц, через канал в центре емкости привести их в контакт со второй коллоидной системой, чтобы инициировать их химическую реакцию, и т. д.

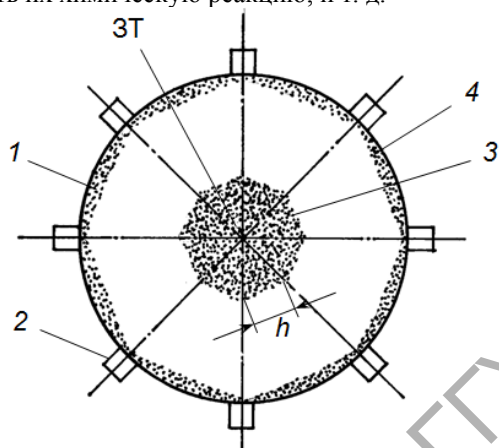


Рисунок 4.1 – Схема регулирования концентрации частиц в МЖ: 1 – емкость; 2 – электромагнит; 3 и 4 – зоны концентрации магнитных частиц вблизи 3Т и у стенки емкости

Если изменить программу, задав $h_2 > d$, частицы сконцентрируются возле стенки емкости. При периодическом переключении программ области повышенной концентрации частиц будут перемещаться от периферии к центру емкости и обратно к периферии, обуславливая интенсивное перемешивание дисперсной фазы. Чтобы избежать послойного перемешивания, несколько комплектов ЭМ, показанных на рисунке 4.1, следует разместить в плоскостях, находящихся на разных уровнях по высоте емкости. Тогда перемещение частиц в слое, соответствующем плоскости ЭМ, дополнится массообменом между слоями, обуславливая идеальное перемешивание.

Кристаллизацией пирозолей – расплавов, содержащих коллоидно-дисперсную фазу зародышей кристаллообразования, – можно управлять, перемещая зародыши в расплаве по заданной программе. Таким методом целесообразно формировать отливки с заданным градиентом

кристаллической структуры. Это отвечает современной тенденции технологии литейного производства [4].

Плазменная обработка поверхностного слоя деталей является одной из базовых технологий инженерии поверхности. Во многих случаях ее целесообразно проводить потоком униполярных ионов плазмы [5]. В потоке плазмы, истекающем по цилиндрическому каналу, разнополярные ионы случайным образом распределены по площади сечения канала. С помощью быстродействующей системы ЭМ, показанной на рисунке 4.1, можно сконцентрировать униполярные ионы в центральной части потока вокруг его оси. Это расширит возможности плазменной технологии.

Подвижные уплотнения вращающихся валов, работающие при перепадах давления от вакуумного до избыточного, обычно содержат герметизатор в виде слоя МЖ, положение которого в уплотняемом зазоре стабилизирует стандартная схема кольцевых электромагнитов [6]. На рисунке 4.2 представлена схема герметизации трубопровода, нижняя часть которого неподвижна, а верхняя вращается. Зазор между вращающимися и неподвижными фланцами трубопровода заполнен МЖ. На периферии нижнего фланца, установленного из диамагнетика, установлена совокупность ЭМ. Генерируемые ими поля, во-первых, удерживают слой МЖ в зазоре уплотнения, уравновешивая перепад давления $p_1 - p_2$, и, во-вторых, создают (путем переключения ЭМ по команде ЭВМ) градиент плотности магнитных частиц в герметизирующем слое в соответствии с принципами, изложенными выше. Желательно, чтобы наибольшая концентрация магнитных частиц образовалась со стороны слоя МЖ, испытывающей максимальное давление. Когда внешнее избыточное давление $p_2 > p_1$, уплотненный кольцевой слой МЖ создает на периферии фланца, как показано на рисунке 4.1. Когда снаружи трубопровода вакуум и $p_2 < p_1$, уплотненный слой МЖ целесообразно сформировать возле канала трубопровода.

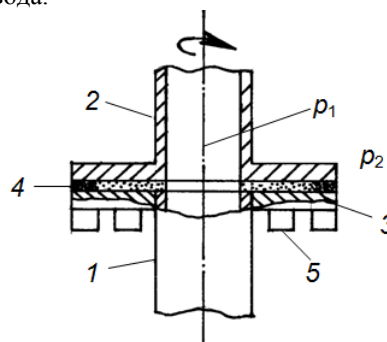


Рисунок 4.2 – Схема уплотнения трубопровода с вращающимся патрубком: 1 – неподвижная часть; 2 – вращающийся патрубок; 3 – диамагнитный фланец; 4 – слой МЖ; 5 – ЭМ; p_1 и p_2 – давления сред в трубопроводе и снаружи

Таким образом, предложенная методика направленного перемещения и локализации дисперсных частиц создает принципиально новые возможности управления магнитожидкостными уплотнениями.

Концентрирование наэлектризованных полимерных частиц в газовом потоке – необходимая операция технологических процессов напыления полимерных покрытий [7] и формирования волокнистых материалов методом melt-blowing [8]. Ее проведение всегда связано со значительными энергетическими и технологическими потерями. На рисунке 4.3 приведена схема устройства, позволяющего оптимизировать эту операцию. Газо-полимерный поток проходит через диэлектрический патрубок, в стенках которого установлены три кольцевых ряда точечных электродов. Они соединены с источником электрического напряжения через систему управления, осуществляемого ЭВМ. Скорость изменения управляющего сигнала соответствует скорости электронов. Она значительно выше скорости движения частиц в газовом потоке. Это дает возможность сконцентрировать частицы в соответствии с изложенными выше принципами в узком цилиндрическом потоке вблизи оси патрубка.

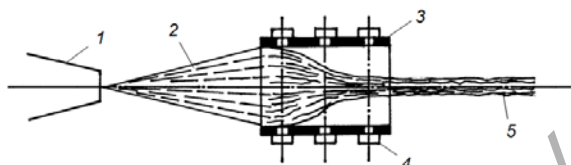


Рисунок 4.3 – Схема концентрирования заряженных полимерных частиц в газовом потоке: 1 – распылительная головка; 2 – исходный газополлимерный поток; 3 – направляющий патрубок; 4 – электрод; 5 – концентрированный газополлимерный поток

Предложенная методика локализации пространства внутри плоских фигур имеет много применений в других областях деятельности человека.

Метод физиотерапии с помощью «бегущего» магнитного поля предполагает комплексное воздействие на тело человека полей от нескольких плоских магнитных катушек, размещенных вблизи патологического очага [9]. Переключение импульсов тока с одной катушки на другую обуславливает «обегание» магнитным полем поврежденной области тела. Режимы этой процедуры выбирают методом проб и ошибок, что характерно для физиотерапии в целом. Приведенные представления позволят планировать магнитотерапевтическое воздействие и реализовать его с помощью ЭВМ по заданной программе. Магнитное поле, «обегая» патологический очаг, перемещает биологические жидкости в поврежденной ткани к центру повреждения или от него в зависимости от диагноза и выбранного метода лечения.

Зашифрованное слово или комбинацию цифр можно найти в заранее согласованном шифровальщиком и адресатом тексте, если заданы реперные буквы текста и шаг построения. Рисунок 4.4 иллюстрирует такую возможность: путем итераций, начатых из произвольно выбранной точки, находим зашифрованное слово «код».

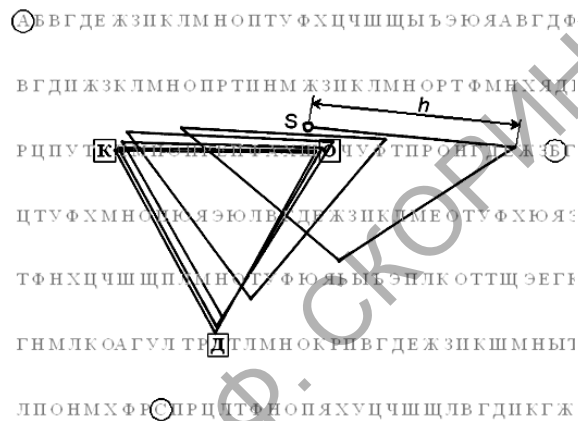


Рисунок 4.4 – Схема поиска в тексте зашифрованного слова: A, B и C – реперные буквы; S – исходная точка; h – шаг построения

Аналогичным образом можно отыскивать место захоронения какого-либо артефакта, зная реперные точки (мало подверженные изменениям ориентиры на местности – возвышенности, отдельно стоящие деревья, скалы и т. п.) и направление их обхода (например, по часовой стрелке).

Можно ожидать, что еще более интересные закономерности и неожиданные эффекты будут найдены при перенесении изложенных принципов геометрических построений в трехмерное пространство. Это позволит разработать оригинальные методы ориентации в космосе, уточнить критерии систематизации кристаллов, усовершенствовать медицинские технологии целевой доставки лекарств в пораженные болезнью органы и т. д.

Заключение

Предложена система геометрических построений, позволяющая выделить внутри любого плоского многоугольника участок, форма и местоположение которого закономерно определяются только формой многоугольника, а размеры – величиной шага h построений. Показано, что при $h \rightarrow 0$ локализованный участок превращается в точку, которая является второй после центра инерции универсальной геометрической характеристикой определенной совокупности плоских многоугольников. В нее входят фигуры, вершины которых находятся на лучах, исходящих из одной точки и расположенных под равными углами друг к другу. В треугольнике прямые, проведенные из его вершин через эту точку, делят

противоположные стороны в пропорциях, соответствующих отношению чисел Фибоначчи.

Очевидно, что частицы дисперсных систем, перемещающиеся под действием внешних сил по предложенной схеме, спустя некоторое время неизбежно сконцентрируются в локальной области, координаты которой заданы расположением источников и временем действия внешних сил. Приведены примеры использования этого принципа в технологических процессах и в других областях человеческой деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Золотое сечение* // БСЭ, 2-е изд., Т. 5. – М. : ГНИИ «БСЭ», 1952. – С. 157–158.
2. *Наноматериалы и нанотехнологии* / под ред. В.Е. Борисенко, Н.К. Толочко. – Мн. : БГУ, 2008. – 375 с.
3. *Рибиндер, П.А.* Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия / П.А. Рибиндер. – М. : Наука, 1978. – 368 с.
4. *Марукович, Е.И.* Теплофизические основы формирования отливок при непрерывном литье в

роторные кристаллизаторы // В кн. «Перспективные материалы и технологии» / Е.И. Марукович ; под ред. В.В. Клубовича. – Витебск : Изд-во УО «ВГПУ», 2008. – С. 143–170.

5. *Процессы плазменного нанесения покрытий: теория и практика* / под ред. А.П. Достанко. – Мн. : Армита – маркетинг, менеджмент, 1999. – 544 с.

6. *Берковский, Б.М.* Магнитные жидкости / Б.М. Берковский, В.Ф. Медведев, М.С. Краков. – М. : Химия, 1989. – 240 с.

7. *Довгяло, В.А.* Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров. Технологические процессы / В.А. Довгяло, О.Р. Юркевич. – Мн. : Навука і тэхніка, 1992. – 256 с.

8. *Melt blowing. Equipment, technology and polymer fibrous materials* / L.S. Pinchuk [et al.]. – Berlin : Springer. – 212 p.

9. *Боголюбов, В.М.* Общая физиотерапия : учебник / В.М. Боголюбов, Г.Н. Пономаренко. – 3-е изд. – М. : Медицина, 1999. – 432 с.

Поступила в редакцию 18.06.13.