

УДК 004.92; 655.26

Сипайло С. В., ассистент; Долгова Т. А., доцент

### НОВЫЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОРНАМЕНТАЛЬНОЙ ГРАФИКИ

In article new approaches to representation and creation of digital ornamental images which are based on definition of characteristic groups of symmetry of ornaments are offered. Principles of synthesis of the Byelorussian ornaments are stated and concrete examples of his description are considered.

**Введение.** В связи с интенсивным развитием компьютерных технологий цифровые методы создания и обработки изображений нашли применение в различных областях человеческой деятельности. Одной из таких областей является полиграфия. К преимуществам цифровых изображений относятся широкие возможности по хранению, обработке, передаче и выводу информации. В частности, цифровые изображения могут быть оперативно и с высокой точностью преобразованы в управляющее воздействие технологического оборудования на обрабатываемый материал. В полиграфии в качестве такого оборудования выступают устройства вывода информации на материальный носитель (фотопленку или формную пластину) для последующего тиражирования либо предварительной оценки репродукционного процесса (цветопробы).

В зависимости от характера элементов изображения оптимальным вариантом его представления для хранения и преобразования может выступать пиксельный либо векторный метод описания графической информации. Векторная графика наиболее эффективна при отсутствии необходимости описывать плавные переходы полутонов, что и определяет ее применение для кодирования иллюстраций, чертежей, логотипов и т. п. В векторном формате наиболее часто представлен и такой элемент графического оформления продукции, как орнамент, что обусловлено четкостью его очертаний и резкими цветовыми переходами. Векторный способ представления орнамента позволяет исключить потери информации при геометрических преобразованиях орнаментального изображения (поворот, масштабирование, сдвиг) и обеспечивает небольшой объем данных для его воспроизведения.

Существенным фактором, ограничивающим использование векторного способа представления изобразительной информации, является сложность реализации ввода данных об изображении. Это актуально как в случае получения цифровой копии вещественного оригинала,

так и при создании новых изображений средствами компьютерной графики. Существующие средства векторизации пиксельных и создания векторных изображений имеют универсальную направленность, т. е. рассчитаны на решение широкого круга задач без учета специфики изображений различного вида. Это негативно сказывается на степени автоматизации создания векторного изображения и может служить основанием для разработки специализированных средств компьютерной графики.

Характерным признаком орнаментов является симметрия, учет которой может сократить трудоемкость их создания, сведя процесс к получению орнаментального фрагмента простой формы с низкой степенью симметрии и его дублированию в соответствии с типом симметрии создаваемой фигуры.

Текущее состояние программ векторной графики [1] позволяет реализовать такой подход к созданию орнаментальных изображений лишь в ручном режиме, предоставляя базовые возможности по разовому выполнению следующих преобразований: отражение, поворот, параллельный перенос. В то же время при создании изображений с высокой степенью симметрии такие преобразования требуется выполнять многократно, а их параметры должны быть заданы в строгом соответствии с нужным видом симметрии. Нахождение количественных параметров преобразований, необходимых для создания определенной симметричной фигуры, в настоящее время также не автоматизировано.

Исходя из вышесказанного, с учетом достаточно широкого распространения орнамента как средства дизайна, целесообразным представляется поиск и реализация новых подходов к автоматизации процесса создания симметричных векторных изображений, в частности, орнаментов.

**Описание и создание орнаментальных изображений на основе симметрических свойств.** Для решения поставленной задачи применительно к отечественным народным орнаментам были выявлены наиболее характерные

для них группы симметрии. Для белорусских орнаментов в форме розеток характерны три вида групп симметрии:  $m$ ,  $2\text{-}m$  и  $4\text{-}m$  (здесь и далее для обозначения групп симметрии орнаментов используются символы симметрии Шубникова). Перечисленные группы базируются на таких элементах симметрии, как плоскость симметрии, поворотная ось симметрии 2-го порядка, поворотная ось симметрии 4-го порядка. Среди сетчатых белорусских орнаментов наиболее распространены группы симметрии  $(a:a):4\text{-}m$  (комбинация взаимно перпендикулярных осей переноса одинаковой периодичности с осью симметрии 4-го порядка и плоскостями симметрии),  $(b:a):2\text{-}m$  (комбинация взаимно перпендикулярных осей переноса различной периодичности с осью симметрии 2-го порядка и плоскостями симметрии),  $(a/a):2\text{-}m$  (комбинация неперпендикулярных осей переноса одинаковой периодичности с осью симметрии 4-го порядка и плоскостями симметрии). Симметрия бордюрных белорусских орнаментов в большинстве случаев характеризуется группами  $(a):2\text{-}m$  (комбинация оси переноса с плоскостями симметрии и осью симметрии 2-го порядка) и  $(a):m$  (комбинация оси переноса с плоскостью симметрии, перпендикулярной направлению переноса).

При изучении симметрии орнаментов установлено [2], что их рассмотрение как гомогенной симметричной системы из повторяющихся элементов не дает достаточной информации о группах симметрии для того, чтобы свести процесс создания разнообразных узоров к тому или иному алгоритму симметрических преобразований базового элемента, взятого из узкого перечня вариантов. Симметрически неделимый фрагмент такой одноуровневой системы остается трудновоспроизводимым и, кроме того, очень сильно изменяется по форме от орнамента к орнаменту даже в пределах одной группы. Это требует дополнительного разделения белорусских орнаментов на более низкие структурные элементы, характеризующиеся упрощенной формой и более высокой степенью встречаемости в различных узорах.

Проведенный для этих целей системный анализ белорусских орнаментальных изображений показал, что они часто представляют собой сложные составные фигуры. При несовпадении симметрических групп составных частей гетерогенной фигуры происходит понижение ее симметрии. Согласно принципу суперпозиции групп симметрии для гетерогенных систем группа симметрии  $G$  гетерогенного геометрического объекта является общей подгруппой групп симметрии частей  $G_i$ . Системное описание симметрии белорусских орнаментов на основе принципа суперпозиции позволило представить их в виде многоуровневой упорядоченной системы из менее сложных элемен-

тов. Более глубокий уровень структурирования составных узоров, по сравнению с рассмотрением симметрии фигуры в целом, обеспечивает разделение белорусских орнаментов на симметрически неделимые фрагменты упрощенной формы, имеющие более высокую степень встречаемости в узорах различной симметрии, что способствует унификации синтеза орнаментальных узоров, различных по форме.

Так, многие бордюрные и сетчатые орнаменты представляют собой сочетание двух или трех симметричных периодических структур, наложение которых часто приводит к понижению симметрии составной фигуры. Вместе с тем встречаются бордюрные и сетчатые орнаменты, не имеющие составных бесконечных подструктур. Кроме того, если выделить розетку, заключенную внутри орнаментальной ячейки, и рассматривать ее симметрию изолированно от симметрии сетчатой фигуры, нередко можно обнаружить более высокую степень симметрии по сравнению с симметрией ячейки. Это объясняется тем, что симметрия ячейки обусловлена подгруппой трансляций сетчатого орнамента. Встречающееся несовпадение симметрии ячейки и находящегося в ее пределах изображения говорит о целесообразности разграничения синтеза розеточного мотива и периодического узора.

Таким образом, процесс создания бордюрных и сетчатых орнаментов может быть представлен в два этапа: формирование орнаментальных розеточных мотивов и последовательные преобразования их дубликатов, входящие в группу симметрических переносов и отражений орнаментальной ячейки. Наиболее сложным из этих этапов представляется синтез орнаментальных розеток. Периодическое же повторение изображения розетки в соответствии с группой симметрии бесконечной периодической подструктуры является достаточно простой алгоритмической задачей.

В свою очередь сложные белорусские орнаментальные розетки, как правило, могут быть представлены в виде системы из нескольких концентрических узоров симметрии  $2\text{-}m$  и  $4\text{-}m$ . Это справедливо и для розеток в виде обособленных фигур, и для розеточных мотивов бесконечных орнаментов. При этом перечень простых симметричных объектов, служащих основой для формирования более сложных орнаментальных систем, ограничен сравнительно небольшим количеством типов формы. Это дает возможность описывать разнообразные составные розеточные орнаменты различной степени сложности, опираясь на базовый набор простых элементов.

Геометрические розеточные элементы самого низкого уровня сложности можно сформировать в результате дублирования и определенных преобразований повторяющихся частей симмет-

ричной фигуры. При этом выполняемые преобразования должны входить в группу симметрии создаваемого объекта. Наиболее явным вариантом выбора базового элемента для дублирования является фрагмент формируемого узора, симметрически неделимый с точки зрения готовой фигуры. Однако такой подход вызывает необходимость использования индивидуальных базовых элементов для создания разных по форме фигур. Более эффективным способом синтеза простых розеток с точки зрения унификации алгоритма процесса представляется способ, в основу которого положено использование единого базового элемента на начальной стадии формирования любого узора. Как известно, единым элементом белорусских орнаментальных розеток является дискретная единица орнамента — однородная прямоугольная ячейка (далее будем называть ее «дискретный элемент»). Возможность ее использования в качестве базового элемента на начальной стадии синтеза розеток обусловлена тем, что части простого геометрического орнамента при автономном рассмотрении, как правило, могут быть представлены в виде фрагментов простейших бордюров, образованных дискретными элементами. В силу ярко выраженной дискретности белорусского орнамента количество элементов такого бордюра будет небольшим, что позволяет сформировать его с использованием малого количества движений базового объекта. Далее полученный фрагмент симметричного узора используется в качестве нового, усложненного, базового элемента для получения розетки посредством симметрических преобразований.

Стоит также отметить, что перечень движений, задействованных при получении симметричного узора, зачастую меньше общего количества элементов его группы симметрии, а способов создания узора может быть несколько. Предпочтение тому или иному варианту синтеза может отдаваться, исходя из наименьшего количества движений, компактности и степени унификации алгоритма синтеза, а также функциональных возможностей программной среды.

В качестве примера создания простой орнаментальной розетки по изложенному принципу

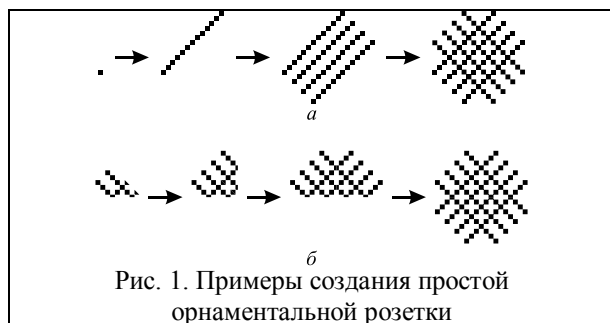


Рис. 1. Примеры создания простой орнаментальной розетки

можно привести рис. 1, а. Изображенный на нем розеточный узор можно получить из дискретного элемента следующим образом: 1) на начальной стадии формируется зубчатый диагональный элемент, который можно представить как фрагмент бордюра, получаемый посредством параллельного переноса дубликатов квадрата вдоль диагонали; 2) далее производится трехкратное дублирование текущей фигуры путем параллельного переноса в перпендикулярном направлении; 3) затем совокупность диагональных элементов дублируется вращением вокруг поворотной оси симметрии четвертого порядка, перпендикулярной плоскости рисунка, на элементарный угол поворота ( $90^\circ = 360^\circ/4$ ). Для сравнения можно проиллюстрировать способ синтеза той же розетки, основанный на использовании в качестве базового элемента симметрически неделимого фрагмента цельной фигуры (рис. 2, б). Как видно, в отличие от предложенного выше варианта синтеза, этот способ требует использования существенно более сложного в описании базового элемента.

Орнаментальные розетки более высоких уровней сложности, как было отмечено выше, могут быть получены из розеточных элементов первого уровня путем их сложения или вычитания друг из друга с соблюдением необходимого относительного расположения.

На основе сформулированных принципов создания орнаментальных изображений может быть получено формализованное описание синтеза орнаментов, позволяющее реализовать процесс программно.

Приведем несколько примеров такого формализованного описания орнаментальных розеток различной сложности и орнамента бесконечного типа.

Орнаментальная решетка из пересекающихся диагональных отрезков может быть получена по следующему алгоритму:

$$M_{1,2}(n1, n2, i3, n3) = [(a_{1,-1,n1} \rightarrow a_{1,1,n2}) \cup (a_{1,-1,n1-1} \rightarrow a_{1,1,n2-1})] \rightarrow a_{i3,i3,n3} \rightarrow n_{4c} \quad (1)$$

где  $a_{i,j,n}$  — параллельный перенос дубликата мотива  $n - 1$  раз с периодом  $i$  дискретных элементов по горизонтали и  $j$  дискретных элементов по вертикали;  $n_{4c}$  — поворот дубликата фигуры вокруг оси 4-го порядка, расположенной в центре текущего узора, на элементарный угол поворота и наложение двух полученных фигур без удаления пересекающихся частей.

Для создаваемой фигуры параметр  $n1$  будет соответствовать длине элемента решетки,  $n2$  — толщине элемента решетки,  $i3$  — периодичности расположения элементов в создаваемой розетке, а  $n3$  — количеству элементов решетки, параллельных друг другу.

При определении конкретных числовых параметров преобразований должны соблюдаться следующие условия:  $n3 \geq 1$ ;  $i3 \geq n2$ ;  $n2 < n1$ ;  $n1 \geq i3 \cdot (n3 - 1) + n2 - 1$ .

Приводимые здесь и далее соотношения получены исходя из анализа существующих изображений белорусских народных орнаментов, принадлежащих к описываемому типу узора. Соотношения основываются на пропорциях, характерных для рассматриваемого узора, и его размерных данных. Данная система ограничений предусмотрена с целью соблюдения традиций, сложившихся в белорусской орнаментике.

Дискретное изображение квадрата, опирающегося на вершину, может быть описано выражением

$$M_{1,4}(n1, n2, n3) = [(a_{1,-1,n1} \rightarrow a_{1,1,n2}) \cup (a_{1,-1,n1-1} \rightarrow a_{1,1,n3})] \rightarrow n_{4,1-n2}, \quad (2)$$

где  $n_{4,i}$  — 3-кратный поворот дубликата фигуры вокруг оси 4-го порядка, расположенной в центре создаваемого узора, на элементарный угол поворота и наложение 4-х полученных фигур без удаления пересекающихся частей. При этом ось симметрии смещена на  $i$  дискретных элементов по горизонтали и вертикали от центра дискретного элемента, расположенного в правом нижнем углу исходного фрагмента.

Для данного типа узора  $n1 \geq 3$ ;  $n2 \geq 1$ ;  $n3 = n2$  или  $n3 = n2 - 1$ ;  $n2 + n3 \leq n1$ .

В свою очередь, синтез розетки более высокого уровня сложности, основывающейся на рассмотренных элементах первого уровня, можно представить в следующем виде:

$$M_{2,1}(n1, n2, i1, n3, n4, n5, n6) = \{[M_{1,2}(n1, n2, i1, n3) \cup M_{1,4}(n4, n4, n4 - 1)] \cap \bar{M}_{1,4}(n4, n4, n4 - 1)\} \cup M_{1,4}(n4, n5, n6) \quad (3)$$

При этом  $(n3 - 1) \cdot i1 + n2 \leq n4 < n1$ .

Генерирование сетчатых орнаментов симметрии вида  $[(a:a):4 \cdot m] \cap [(a:a):4 \cdot m]$ , в общем виде описывается следующим образом:

$$[M1 \rightarrow a_{i,0,n} \rightarrow a_{0,i,m}] \cup [(M2 \rightarrow a_{i,0,n} \rightarrow a_{0,i,m}) \rightarrow b_{i/2,i/2}], \quad (4)$$

где  $M1$  — размножаемый мотив большего размера;  $M2$  — второстепенный «узловой» мотив;  $b_{i,j}$  — параллельный перенос фигуры относительно базового положения на  $i$  дискретных элементов по горизонтали и на  $j$  дискретных элементов по вертикали.

Аналогичным образом можно описать процессы создания белорусских орнаментов других типов по форме и составу.

На основе выполненного формализованного описания синтеза белорусских орнаментов разработана программа Ornamentika [3, 4], которое представляет собой встраиваемый программный модуль CorelDraw, написанный на языке Visual Basic for Applications (VBA). Программа значи-

тельно расширяет базовые возможности векторного пакета, обеспечивая создание в автоматическом режиме белорусских розеточных орнаментов простого и среднего уровней сложности. Инструменты программы позволяют получать как простые объекты, так и достаточно сложные составные розетки. Кроме того, программа может существенно автоматизировать процесс создания орнаментальных розеток сложной формы и состава, а также орнаментов бордюрного и сетчатого типов.

**Выводы.** Таким образом, в основу анализа и синтеза орнаментальных изображений, в частности белорусских, может быть положена теория симметрии. Определение характерных групп симметрии и рассмотрение орнаментов как многоуровневой системы симметрически упорядоченных элементов дает возможность точно и компактно описать процесс создания орнаментов на специально разработанном формальном языке. Это позволяет значительно расширить стандартные возможности векторного представления орнаментальной графики за счет сокращения объема информации, требуемой для описания и формирования изображения. Предложенные новые подходы к созданию орнаментальной графики в общем виде также могут быть применены для описания других типов сложных симметричных изображений и разработки соответствующих программных средств.

## Литература

1. Сипайло, С. В. Средства и методы автоматизированного проектирования цифровых изображений белорусских орнаментов / С. В. Сипайло // Труды БГТУ. Сер. X. Издат. дело и полиграфия. — 2004. — Вып. XII. — С. 37–40.
2. Сипайло, С. В. Применение теории групп для описания симметрии белорусских орнаментов / С. В. Сипайло, Т. А. Долгова // Труды БГТУ. Сер. IX. Издат. дело и полиграфия. — 2003. — Вып. XI. — С. 49–55.
3. Сипайло, С. В. Разработка программного обеспечения для автоматизации формирования белорусских орнаментов в допечатных процессах полиграфии / С. В. Сипайло // Труды БГТУ. Сер. IX. Издат. дело и полиграфия. — 2006. — Вып. XIV. — С. 55–58.
4. Сипайло, С. В. Создание орнаментальных изображений с помощью встраиваемого программного модуля CorelDraw / С. В. Сипайло // Труды БГТУ. Сер. IX. Издат. дело и полиграфия. — 2007. — Вып. XV. — С. 17–20.