

УДК 655.26;004.92

**С. В. Сипайло**

Белорусский государственный технологический университет

**РЕАЛИЗАЦИЯ СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ  
НА ОСНОВЕ НЕКЛАССИЧЕСКИХ ВИДОВ СИММЕТРИИ  
С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ВЕКТОРНОЙ ГРАФИКИ**

В статье рассматривается программная реализация синтеза векторных изображений на основе неклассических видов симметрии. Симметричные узоры могут применяться для оформления печатной продукции, а также в защитных целях. К неклассическим видам симметрии можно отнести криволинейную симметрию и симметрию подобия. Использование стандартных инструментов графических программ для реализации неклассических преобразований требует от пользователя большого количества ручных действий.

Для повышения производительности процесса синтеза векторных симметричных узоров в среде CorelDRAW на языке VBA выполнена программная реализация криволинейной трансляции графических объектов и преобразований подобия. Использование написанных подпрограмм синтеза позволяет существенно ускорить процесс создания изображений с элементами неклассической симметрии и повышает степень разнообразия формируемых узоров. За счет усложнения структуры симметричного узора обеспечивается дополнительная защита печатной продукции от воспроизведения третьими лицами. В рамках дальнейшего развития работы следует автоматизировать составление цепочки симметрических операций, включающей неклассические преобразования, путем доработки существующей подпрограммы синтеза симметричных узоров на основе случайных чисел.

**Ключевые слова:** криволинейная симметрия, симметрия подобия, векторная графика, синтез изображений.

**S. U. Sipaila**

Belarusian State Technological University

**IMPLEMENTATION OF IMAGE SYNTHESIS  
ON THE BASIS OF NON-CLASSICAL TYPES OF SYMMETRY  
USING VECTOR GRAPHICS SOFTWARE**

The article deals with software implementation of the synthesis of vector images based on non-classical types of symmetry. Symmetrical tracteries can be used for the design of printed products and for protective purposes. Non-classical types of symmetry include curvilinear symmetry and symmetry of similarity. Using standard graphics tools to implement non-classical conversions requires a lot of manual action from the user.

To improve the performance of the process of synthesizing vector symmetric tracteries, in the CorelDRAW environment in the VBA language software implementation of curvilinear translation of graphic objects and similarity transformations is performed. The use of the developed synthesis procedures allows to significantly accelerate the process of creating images with elements of non-classical symmetry and increases the degree of diversity of the tracteries obtained. Due to the complexity of the structure of the symmetrical tracteries, additional protection of printed products from reproduction by third parties is provided. In the course of the subsequent development of the product, it is necessary to automate the construction of a chain of symmetric operations involving non-classical transformations, by refining the existing procedure for the synthesis of symmetric patterns based on random numbers.

**Key words:** curvilinear symmetry, similarity symmetry, vector graphics, image synthesis.

**Введение.** Изображения в составе полиграфической продукции, как правило, не только выполняют информационную функцию, дополняя текст и способствуя большей наглядности представления информации, но и создают необходимое эстетическое восприятие печатного продукта. Также изображения могут осуществлять защитную и идентификационную функции.

Широкое распространение для решения задач декоративного оформления печатной продукции нашли симметричные изображения. Форма исполнения и смысловое содержание этих изображений могут отличаться в зависимости от вида продукции (книга, журнал, рекламная листовка, ценные бумаги и т. д.) и ее назначения. Так, в изданиях, раскрывающих

культуру и историю определенного этноса, могут применяться народные орнаментальные мотивы, для которых характерны конкретные виды симметрии, композиционные приемы и форма орнаментальных элементов. Использование этнических орнаментов также актуально при необходимости подчеркнуть национальную принадлежность либо самой печатной продукции (например, государственных ценных бумаг), либо изделия, для которого печатная продукция выступает в качестве этикетки или упаковки. Если же при разработке графического оформления не ставится таких задач, то перечень видов симметрии и очертаний изобразительных элементов в составе орнамента может быть более широк. Помимо выполнения чисто декоративной функции, абстрактные симметричные узоры могут служить средством защиты печатной продукции от копирования третьими лицами. Последнее затруднено в том случае, если узоры состоят из большого количества мелких элементов сложной формы, точно воспроизвести которые можно, только имея в наличии цифровой оригинал, а не его бумажную репродукцию.

Если элементы симметричных узоров имеют четкие границы, то для их цифрового описания наиболее эффективно использовать принципы векторной графики.

В ряде предыдущих работ [1–4], посвященных созданию симметричных изображений для графического оформления печатной продукции, в основу компьютерного синтеза векторных узоров были положены так называемые классические виды симметрии. В то же время более широкое толкование понятия симметрии позволяет выделить новые виды симметрических преобразований, которые также могут быть положены в основу синтеза декоративных векторных узоров. Программная реализация неклассических видов симметрии в процессе синтеза изображений обеспечит большее разнообразие формируемых узоров и тем самым предоставит дизайнеру дополнительные возможности как в части графического оформления печатной продукции, так и в части ее защиты от подделки.

**Основная часть.** Симметрию можно понимать как свойство объекта сохранять свою инвариантность (тождественность) по определенному признаку в результате выполнения установленных преобразований, называемых симметрическими [5, с. 22].

Для классических видов симметрии двумерных фигур характерны следующие преобразования: 1) поворот вокруг оси, перпендикулярной плоскости рисунка; 2) отражение в плоскости, перпендикулярной плоскости ри-

сунка; 3) параллельные переносы (трансляции) вдоль прямолинейных осей; 4) скользящее отражение (комбинация переноса и отражения относительно оси переноса).

Если же подойти к понятию симметрических преобразований с более общих позиций, можно выйти за рамки классических движений и расширить перечень преобразований, приводящих к тождественности двумерной фигуры. К неклассическим видам симметрии [6, с. 122–128; 7], для которых характерны такие преобразования, можно отнести криволинейную симметрию и симметрию подобия.

В случае криволинейной симметрии обычные плоскости и оси симметрии заменены искривленными поверхностями и линиями. Исходя из такой трактовки понятия симметрии, можно выделить два частных случая криволинейной симметрии, характерных для двумерных изображений: 1) криволинейная трансляционная симметрия, порождаемая трансляциями (переносами) фигуры вдоль криволинейной оси (рис. 1, а); 2) симметрия отражения в криволинейной плоскости, которая проецируется на плоскость рисунка в виде кривой линии (рис. 1, б).

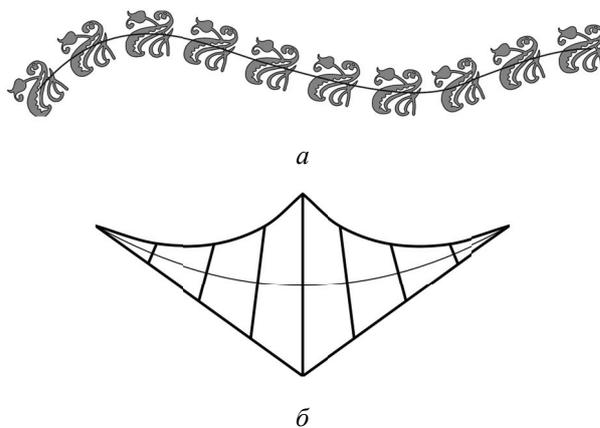


Рис. 1. Примеры криволинейной симметрии:  
а — криволинейная трансляционная симметрия;  
б — криволинейное отражение

Понятие симметрии подобия рассматривалось в работах А. В. Шубникова [8], А. М. Заморзаева [9] и др. Согласно Шубникову [8], симметрия подобия — закономерная повторяемость подобных (но не равных) частей, образующих фигуру. Симметрия подобия основана на трансляциях, поворотах вокруг осей и отражениях с одновременным изменением масштаба подобных частей фигуры и расстояний между ними.

В соответствии с движениями на плоскости, совмещенными с преобразованием подобия, выделяют три разновидности симметрических преобразований (рис. 2) [10, с. 22–23]:

1) собственно преобразование подобия  $K$ , т. е. преобразование, которое каждому вектору  $AB$  присваивает вектор  $A'B'$ , такой, что  $A' = K(A)$ ,  $B' = K(B)$  и  $A'B' = kAB$ , где  $k$  – коэффициент подобия;

2) преобразование  $L$  — композиция преобразования подобия  $K$  и поворота;

3) преобразование  $M$  — композиция преобразования подобия  $K$  и отражения.

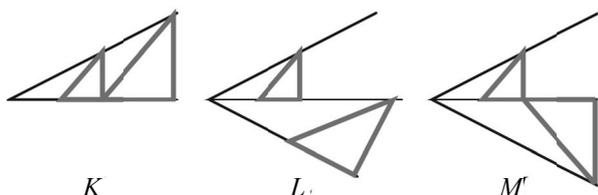


Рис. 2. Разновидности преобразований симметрии подобия

Таким образом, к дополнительным преобразованиям, свойственным неклассическим вариантам симметрии двумерных фигур, можно отнести движение по криволинейной оси, отражение в криволинейной плоскости и преобразования подобия, т. е. движения, совмещенные с изменением размеров.

Эти виды преобразований могут быть включены в состав алгоритма синтеза векторных криволинейных узоров, предложенного автором в предыдущей работе [11]. В качестве основы для синтеза выступает базовый изобразительный элемент простой формы, к которому применяется цикл симметрических преобразований для создания более сложного по форме и симметрии графического объекта. На каждой следующей стадии синтеза в качестве нового базового элемента применяется текущий графический объект. Расширив перечень симметрических преобразований базового графического элемента за счет неклассических видов симметрии, можно сформировать большее количество симметричных узоров.

Преобразования, порождающие неклассические группы симметрии, с разной степенью автоматизации могут быть выполнены с помощью стандартных средств компьютерной графики CorelDRAW и Adobe Illustrator.

Узоры с симметрией подобия могут быть сформированы в CorelDRAW путем преобразования базового элемента с помощью команд окна «Преобразования»: положение, поворот, масштаб и отражение. Аналогичными средствами обладает и программа Adobe Illustrator (команды из группы «Трансформирование» пункта меню «Объект»). При выполнении преобразования подобия расстояние перемещения дублируемого симметричного фрагмента каждый

раз должно изменяться вместе с его размером в соответствии с коэффициентом подобия. Поскольку изменение положения задается не в процентах от размера перемещаемой фигуры, а в абсолютных единицах длины, пропорциональный пересчет расстояния автоматически не производится. Необходимость же расчета вручную при выполнении каждого преобразования подобия существенно замедляет процесс формирования узора стандартными средствами CorelDRAW и Adobe Illustrator.

Криволинейная трансляционная симметрия в программе CorelDRAW может быть частично реализована с помощью инструмента «Перетекание», если применять исходный и конечный объекты, тождественные друг другу. Альтернативным вариантом создания криволинейной симметрии является эффект «Художественное оформление».

При использовании инструмента «Перетекание» (рис. 3) для реализации трансляции объекта вдоль криволинейной оси необходимо вручную создать дополнительный векторный контур требуемой формы и выбрать его в качестве пути перетекания. Для ориентации трансляруемого объекта параллельно касательной к текущей точке оси необходимо активировать параметр «Перетекание с поворотом». При этом возможно автоматическое неконтролируемое изменение размеров объекта на участках оси разной кривизны (рис. 3, б), что не позволяет получить эффект трансляционной симметрии в чистом виде.

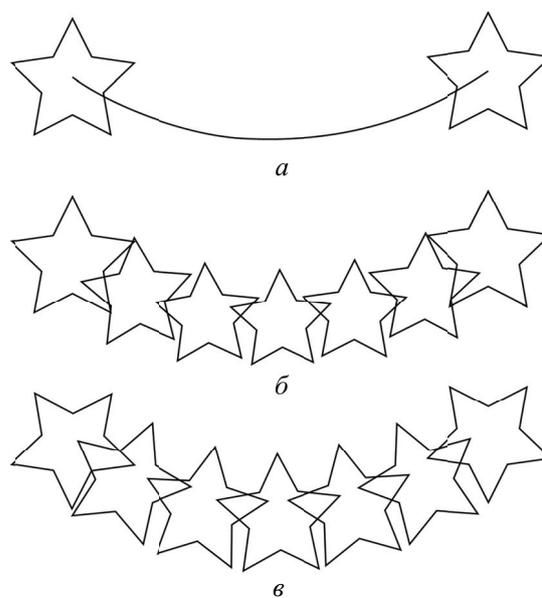


Рис. 3. Криволинейная трансляция с помощью инструмента «Перетекание»: а — исходные объекты; б — перетекание в CorelDRAW; в — перетекание в Adobe Illustrator

В случае применения эффекта «Художественное оформление» на векторный контур накладывается рисунок художественной кисти. Для периодического повторения объекта в виде рисунка кисти вдоль криволинейного контура необходимо выбрать такой вариант художественной кисти, как «Распылитель». При этом возможен как выбор повторяющихся объектов из существующего набора кистей, так и создание пользовательской кисти на основе произвольного векторного изображения. Для упорядоченного расположения графических объектов вдоль криволинейной оси необходимо на панели свойств выбрать последовательную очередность расположения элементов кисти, а для ориентации основания объекта параллельно касательной к криволинейной трансляционной оси — активировать опцию поворота объекта «на основе пути».

Программа Adobe Illustrator, как и CorelDRAW, поддерживает функцию перетекания. Также в программе Adobe Illustrator имеется функциональный аналог инструмента «Художественное оформление» — «Узорчатая кисть», реализуемый с помощью палитры «Кисти». В результате использования кисти узорчатого типа обеспечивается периодическое повторение элемента кисти вдоль векторного контура произвольной формы. Можно применять готовые наборы кистей либо создавать свой образец на основе векторного объекта. При этом возможно редактирование таких параметров, как интервал между повторяющимися фрагментами, масштаб фрагментов и т. п. Также есть возможность выбрать угловые векторные объекты (при создании прямоугольных рамок) и концевые элементы.

При использовании обоих способов реализации криволинейной трансляционной симметрии требуется выполнять ряд ручных манипуляций с векторными объектами, что негативно влияет на производительность процесса создания узоров. Кроме того, не всегда обеспечивается необходимая точность выполнения геометрических преобразований.

Для реализации криволинейного отражения точные инструменты отсутствуют как в программе CorelDRAW, так и Adobe Illustrator. В некотором приближении эффекта криволинейного отражения можно добиться, применив вручную к дубликату базового объекта команду «Оболочка», однако точность такого преобразования будет невысокой при больших временных затратах.

Таким образом, применение стандартных инструментов программ векторной графики для создания симметричных узоров с элементами неклассической симметрии сопряжено с боль-

шим объемом ручной работы и не всегда позволяет добиться точного результата. Для уменьшения трудоемкости процесса синтеза векторных узоров необходима разработка дополнительных средств автоматизации геометрических преобразований, свойственных неклассическим видам симметрии. Эта задача может быть решена на базе программы CorelDRAW с использованием языка программирования VBA.

Исходные данные, необходимые для решения задачи синтеза изображения на основе базового графического элемента для случаев криволинейной трансляционной симметрии и симметрии подобия, представлены в таблице.

#### Основные параметры синтеза изображений на основе неклассических видов симметрии

Вид симметрии	Параметры для реализации синтеза
Криволинейная трансляционная симметрия	1. Форма оси переноса, представленная в виде $y = f(x)$ или $x = x(t); y = y(t).$ 2. Период (шаг) переноса $T$ вдоль криволинейной оси
Симметрия подобия	1. Тип движения симметрии (вращение, отражение, перенос), сопрягаемый с преобразованием подобия. 2. Начальный шаг смещения $T_1$ исходного графического объекта (при выполнении трансляций). 3. Коэффициент подобия $K$

При реализации трансляционной симметрии необходимо решать задачу определения длины участка криволинейной оси для расположения дублируемых объектов с одинаковым шагом. Если форма криволинейной оси задана в явном виде  $y = f(x)$ , то интегральная функция длины кривой  $l$  на отрезке  $[a; b]$  имеет следующий вид [12, с. 297]:

$$l = \int_a^b \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx. \quad (1)$$

При использовании численных методов расчета длину текущего участка кривой на  $i$ -том шаге прироста аргумента  $x$  на величину  $\Delta x$  можно определить по следующей формуле:

$$l_i = l_{i-1} + \sqrt{\Delta x^2 + (f(x_{i-1} + \Delta x) - f(x_{i-1}))^2}. \quad (2)$$

На каждом шаге прироста рассчитанная длина кривой сравнивается с величиной шага

трансляции и при достижении этой величины осуществляется перенос дубликата фигуры на текущую позицию.

Также реализация криволинейной трансляционной симметрии требует решения задачи ориентации основания транслируемой фигуры параллельно касательной к криволинейной оси трансляций в заданной точке этой оси. Для этого необходимо осуществить поворот горизонтально ориентированного дубликата на угол  $\alpha$ , определяемый по формуле

$$\alpha = \arctg\left(\frac{f(x_{i-1} + \Delta x) - f(x_{i-1})}{\Delta x}\right). \quad (3)$$

Существующие программные разработки автора в сфере синтеза симметричных узоров [1–4], написанные на языке VBA, позволяют создать базовый графический элемент на основе его функционального описания и осуществить ряд преобразований, соответствующих классическим видам симметрии. Для расширения возможностей программных средств синтеза были написаны следующие функции и подпрограммы (процедуры).

1. *Ft\_x* — функция  $ft(x)$ , описывающая форму криволинейной трансляционной оси:

$$ft(x) = 30 \sin(x / 10). \quad (4)$$

2. *Perenos\_f* ( $h, nt, rotor$ ) — подпрограмма переноса фигуры вдоль криволинейной оси, где  $h$  — шаг переноса,  $nt$  — количество дубликатов,  $rotor$  — логическая переменная, отвечающая за поворот основания транслируемой фигуры параллельно касательной к криволинейной трансляционной оси.

3. *Podobie* ( $k, x, y, n$ ) — подпрограмма преобразования подобия  $K$ , где  $k$  — коэффициент подобия,  $x, y$  — начальные шаги смещения исходной фигуры по горизонтали и вертикали соответственно,  $n$  — количество дубликатов.

4. *Podob\_rot* ( $k, x, x1, n, alfa$ ) — подпрограмма преобразования подобия  $L$ , включающего преобразование подобия  $K$  и поворот на заданный угол, где  $k$  — коэффициент подобия,  $x, y$  — начальные шаги смещения исходной фигуры по горизонтали и вертикали соответственно,  $x1$  — смещение точки поворота от центра исходной фигуры в горизонтальном направлении,  $n$  — количество дубликатов,  $alfa$  — угол поворота.

5. *Podob\_flip* ( $k, x, y1, n$ ) — подпрограмма преобразования подобия  $M$ , включающего преобразование подобия  $K$  и отражение, где  $k$  — коэффициент подобия,  $x$  — начальный шаг смещения исходной фигуры по горизонтали,  $y1$  — смещение линии отражения от центра фигуры вниз,  $n$  — количество дубликатов.

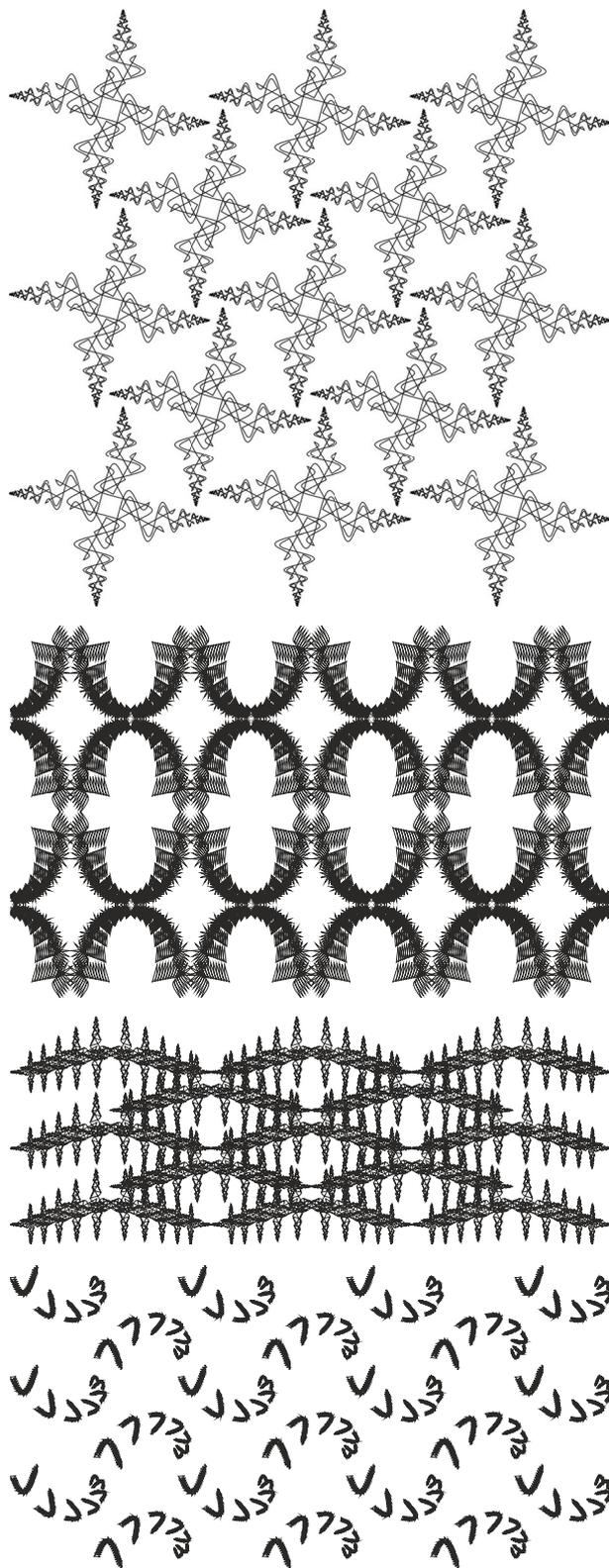


Рис. 4. Примеры синтезированных узоров

Реализованные программно операции неклассической симметрии были использованы для синтеза векторных криволинейных узоров по алгоритму, предложенному автором в работе [11]. Алгоритм выполнялся в автоматизированном режиме путем запуска приведенных

выше подпрограмм для синтеза фрагмента узора с неклассической симметрией и применения инструментов программы Ornamentika [1] для традиционных симметрических преобразований. При этом комбинация симметрических преобразований, приводящая к синтезу узора, определялась самим пользователем. В будущем составление цепочки симметрических операций, включающей неклассические преобразования, можно автоматизировать путем доработки существующей подпрограммы генерации симметричных узоров на основе случайных чисел. Примеры синтезированных изображений с элементами неклассической симметрии представлены на рис. 4. Результаты синтеза изображений говорят о возможности значительно расширить перечень декоративных узоров по их форме и симметрии за счет включения в процесс синтеза неклассических преобразований. При этом программная реализация неклассических преобразований на языке VBA существенно ускоряет процесс создания узора по сравнению с использованием стандартных инструментов программ векторной графики.

**Заключение.** В данной работе рассмотрена реализация синтеза декоративных контурных

узоров на основе криволинейной трансляционной симметрии и симметрии подобия. Выполнен аналитический обзор функциональных возможностей программ векторной графики для осуществления неклассических преобразований. Сделаны выводы о высокой трудоемкости выполнения таких преобразований при использовании стандартных инструментов графических программ. На языке VBA выполнена программная реализация трансляции графических объектов вдоль криволинейной оси и преобразований подобия. Использование написанных подпрограмм позволяет существенно ускорить процесс создания узора с элементами неклассической симметрии, расширяет возможные варианты формируемых узоров, усложняет структуру симметричного изображения. Последнее, в свою очередь, обеспечивает дополнительную защиту печатной продукции от незаконного воспроизведения. В рамках дальнейшего развития данной работы составление цепочки симметрических операций, включающей неклассические преобразования, также следует автоматизировать путем доработки существующей подпрограммы синтеза симметричных узоров.

### Литература

1. Сипайло С. В. Создание орнаментальных изображений с помощью встраиваемого программного модуля CorelDRAW // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. 2007. Вып. XV. С. 17–20.
2. Сипайло С. В. Автоматизация синтеза векторных криволинейных контуров со свойствами симметрии в CorelDRAW // Труды БГТУ. 2014. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 3–7.
3. Сипайло С. В. Реализация автоматического синтеза векторных узоров в допечатном процессе на языке VBA // Труды БГТУ. 2015. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 125–129.
4. Сипайло С. В. Синтез изображений с цветной симметрией путем сопряжения цветовых перестановок с геометрическими преобразованиями // Труды БГТУ. 2016. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 115–119.
5. Шубников А. В., Копчик В. А. Симметрия в науке и искусстве. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. 560 с.
6. Урманцев Ю. А. Симметрия природы и природа симметрии. М.: Мысль, 1974. 229 с.
7. Лебедева С. Е. Закон симметрии и его универсальный характер // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2007. № 2. С. 107–111.
8. Шубников А. В. Симметрия подобия // Кристаллография. 1960. Т. 5, № 4. С. 489–496.
9. Галарский Э. И., Заморзаев А. М. О группах симметрии и антисимметрии подобия // Кристаллография. 1963. Т. 8. № 5. С. 691–698.
10. Jablan S. V. Symmetry, Ornaments and Modularity. Singapore, World Scientific Publ., 2002. 344 p.
11. Сипайло С. В. Подходы к синтезу изображений на основе неклассических видов симметрии // Труды БГТУ. Сер. 4, Принт- и медиатехнологии. 2017. № 2. С. 55–60.
12. Гусак А. А., Гусак Г. М., Бричикова Е. А. Справочник по высшей математике. Минск: ТетраСистемс, 1999. 640 с.

### References

1. Sipailo S. U. Creation of ornamental images using embedded software module CorelDRAW. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series IX, Publishing and Printing, 2007, issue XV, pp. 17–20 (In Russian).
2. Sipailo S. U. Automation of synthesis of vector curved contours with symmetry properties in CorelDRAW. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 9: Publishing and Printing, pp. 3–7 (In Russian).

3. Sipaila S. U. Implementation automatic synthesis of vector patterns in prepress in language VBA. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 9: Publishing and Printing, pp. 125–129 (In Russian).
4. Sipaila S. U. Synthesis of images with color symmetry by coupling of color rearrangements to geometrical transformations. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 9: Publishing and Printing, pp. 115–119 (In Russian).
5. Shubnikov A. V., Koptsik V. A. *Simmetriya v nauke i iskusstve* [Symmetry in science and art]. Moscow; Izhevsk, Institut komp'yuternykh issledovaniy Publ., 2004. 560 p.
6. Urmantsev Yu. A. *Simmetriya prirody i priroda simmetrii* [Symmetry of nature and nature of symmetry]. Moscow, Mysl' Publ., 1974. 229 p.
7. Lebedeva S. E. The law of symmetry and its universal character. *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Pskov State University], series: Natural, physical and mathematical sciences, 2007, no. 2, pp. 107–111 (In Russian).
8. Shubnikov A. V. Similarity symmetry. *Kristallografiya* [Crystallography], 1960, vol. 5, no. 4, pp. 489–496 (In Russian).
9. Galyarskiy E. I., Zamorzaev A. M. On the similarity symmetry and antisymmetry groups. *Kristallografiya* [Crystallography], 1963, vol. 8, no. 5, pp. 691–698 (In Russian).
10. Jablan S. V. *Symmetry, Ornaments and Modularity*. Singapore, World Scientific Publ., 2002. 344 p.
11. Sipaila S. U. Approaches to image synthesis based on non-classical types of symmetry. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 4, Print- and mediatechnologies, 2017, no. 2, pp. 55–60 (In Russian).
12. Gusak A. A., Gusak G. M., Brichikova E. A. *Spravochnik po vysshey matematike* [Reference book on higher mathematics]. Minsk, TetraSystems Publ., 1999. 640 p.

#### **Информация об авторе**

**Сипайло Сергей Владимирович** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: svsip@tut.by

#### **Information about the author**

**Sipaila Siarhei Uladzimiravich** — PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svsip@tut.by

*Поступила 05.09.2018*