

УДК 655.26;004.92

**С. В. Сипайло**

Белорусский государственный технологический университет

**ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
НА ОСНОВЕ НЕКЛАССИЧЕСКИХ ВИДОВ СИММЕТРИИ**

В статье рассматривается синтез векторных изображений на основе неклассических видов симметрии. К классическим симметрическим преобразованиям, которые совмещают фигуру с собой, относят отражения, повороты и параллельные переносы (трансляции) вдоль прямолинейных осей. При более широкой трактовке понятия симметрии можно выделить дополнительные преобразования, которые приводят к инвариантности двумерной фигуры. К таким дополнительным видам симметрии можно отнести криволинейную симметрию и симметрию подобия. Эти неклассические виды симметрии могут быть положены в основу процесса синтеза декоративных изображений в программах векторной графики. Включив расширенный перечень симметрических преобразований базового графического элемента в состав алгоритма синтеза симметричных изображений, можно сформировать большее количество узоров, используемых в декоративных и защитных целях.

Результаты синтеза изображений по представленному в статье алгоритму говорят о возможности получать разнообразные по форме и симметрии декоративные узоры со свойствами неклассической симметрии.

Для повышения производительности работы предложенный алгоритм синтеза следует реализовать в автоматическом режиме, написав специализированные подпрограммы для дополнительных видов симметрических преобразований и включив их в подпрограмму автоматического синтеза симметричных узоров.

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

**S. U. Sipaila**

Belarusian State Technological University

**APPROACHES TO IMAGE SYNTHESIS  
BASED ON NON-CLASSICAL TYPES OF SYMMETRY**

In article synthesis of vector images on the basis of non-classical types of symmetry is considered. Classical symmetric transformations that combine a figure with itself include reflections, rotations and parallel translations (translations) along rectilinear axes. With a broader interpretation of the concept of symmetry, we can identify additional transformations that lead to invariance of the two-dimensional figure. Such additional types of symmetry include curvilinear symmetry and similarity symmetry. These non-classical types of symmetry can be used as a basis for the process of synthesis of decorative images in vector graphics programs. By including an expanded list of symmetric transformations of the basic graphic element in the symmetric image synthesis algorithm, it is possible to generate more tracteries used for decorative and protective purposes.

The results of image synthesis according to the algorithm proposed in the article indicate the possibility of obtaining a variety of shapes and symmetries decorative tracteries with the properties of non-classical symmetry.

To improve productivity the proposed synthesis algorithm should be implemented in automatic mode, writing specialized subroutines for additional types of symmetric transformations and including them in the subroutine for automatic synthesis of symmetric tracteries.

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

**Введение.** Симметрия как свойство объекта или процесса часто находит проявление в природе и человеческой деятельности [1, 2]. Симметрически упорядоченные элементы характерны для таких областей деятельности человека, как архитектура, промышленное и художественное конструирование, декоративно-прикладное искусство, музыка, поэзия [1–3]. При этом симметрические свойства могут быть обусловлены как

функциональными, так и эстетическими факторами. В полиграфии также находят применение симметричные объекты. Они используются для графического оформления печатной продукции [4–6]. Декоративные узоры со свойствами симметрии представлены в книжных изданиях в качестве изобразительных элементов обложек, форзацев, колонтитулов, титульных листов, начальных и концевых полос. Также симметричные

узоры применяются для оформления разнообразной этикеточно-упаковочной и листовой продукции (открыток, буклетов, рекламных листовок, ценных бумаг, грамот, приглашений и т. п.).

Используемые узоры могут отличаться по своей форме и содержанию в зависимости от вида декорируемой продукции и стоящей перед дизайнером задачи.

Для решения задачи оформления печатной продукции, которая должна ассоциироваться с определенной страной или этносом, в качестве симметричных узоров уместно использование национальных орнаментов. Так, в последнее время для создания ассоциативной связи со страной-изготовителем продукции в оформлении отечественной этикетки и упаковки востребованы народные орнаменты, пришедшие из ткачества и вышивки, а также являющиеся элементом белорусской национальной символики. Народные орнаменты также используются в качестве декоративного элемента в поздравительных грамотах, дипломах, сертификатах, изданиях белорусских классиков, книг по истории и культуре Беларуси. Примеры подобного использования орнаментов можно найти и среди печатной продукции соседних восточнославянских стран, в частности Украины.

В то же время народный орнамент ткачества и вышивки может быть уместен далеко не во всех случаях. Если книга ориентирована на широкий круг читателей, ее тематика не связана с культурой и искусством, широкое применение этнических орнаментальных мотивов в художественном оформлении может создать у потенциального потребителя печатной продукции не совсем верные ассоциации с ее содержанием и назначением. В этих случаях для решения оформительских задач могут больше подойти абстрактные орнаментальные узоры. Кроме того, при оформлении таких видов печатной продукции, как ценные бумаги, сертификаты, бланки строгой отчетности и т. п., изображения помимо чисто эстетического назначения могут выполнять защитную функцию. В подобных случаях практикуется использование симметричных декоративных узоров криволинейного характера, имеющих сложную форму, структуру и состав. Это затрудняет воспроизведение печатной продукции с требуемым качеством теми лицами, которые не имеют доступа к репродуцируемым оригиналам.

Таким образом, в качестве декоративных симметричных узоров в составе полиграфической продукции могут выступать и народные орнаменты, и сложные по структуре абстрактные изображения из криволинейных контуров.

Рисование симметричных узоров традиционными средствами является очень трудоемким

процессом, поэтому в настоящее время симметричные узоры чаще всего создаются на компьютере с использованием графических программ. Поскольку такие узоры, как правило, образованы четкими контурами и имеют преимущественно однородные цветовые области, для их описания наиболее эффективно применение векторного метода кодирования цифровых изображений [5]. Как уже отмечалось в предыдущих работах по компьютерному синтезу симметричных узоров [7–10], стандартные инструменты векторных графических программ [11, 12] позволяют автоматизировать процесс создания симметричных узоров лишь на базовом уровне за счет инструментов дублирования, отражения и поворота векторных объектов. При этом пользователь компьютерной программы должен выполнять вручную большой объем рутинных действий, что существенно замедляет процесс и не дает сосредоточиться на творческой составляющей работы дизайнера. Кроме того, далеко не каждый пользователь графического редактора владеет необходимой теоретической информацией о многообразии существующих видов симметрии, что при отсутствии специализированных инструментов ограничивает результаты его работы тривиальными вариантами симметричных изображений.

На основе вышесказанного можно говорить об актуальности разработки новых подходов к автоматизации синтеза симметричных векторных изображений и их программной реализации.

**Основная часть.** В обобщенной трактовке симметрию можно понимать как свойство объекта сохранять свою инвариантность по определенному признаку в результате выполнения установленных преобразований [1, 13].

В предыдущих работах по синтезу двумерных симметричных изображений [5–10] синтез базировался на классических видах симметрии плоских фигур. К таким видам принадлежит зеркальная, поворотная и комбинированная симметрия конечных фигур (розеток), а также трансляционная симметрия так называемых «бесконечных» фигур (бордюров и сетчатых узоров) [1]. Для бесконечных фигур неотъемлемым симметрическим преобразованием являются трансляции, т. е. параллельные переносы, совмещающие периодическую фигуру саму с собой. При этом в случае бордюров параллельный перенос производится вдоль одной оси, а в случае сетчатых узоров — вдоль двух осей. В классическом варианте трансляционной симметрии оси параллельных переносов имеют прямолинейный характер.

Таким образом, классические виды симметрии предполагают совмещение фигуры по форме при выполнении отражений, поворотов

и/или параллельных переносов вдоль прямолинейных осей.

При реализации синтеза симметричных изображений, обладающих классической симметрией, в качестве основы для синтеза выступает базовый изобразительный элемент простой формы, к которому применяется цикл симметрических преобразований, позволяющий создать более сложный по форме и симметрии графический объект. На каждой следующей стадии синтеза в качестве нового базового элемента выступает текущий графический объект. Кроме того, для синтеза изображения в виде сложной многоуровневой симметричной системы предполагается синтез нескольких подсистем со своей формой и симметрией и их последующее объединение в составной узор. Такой подход показал свою эффективность как в случае белорусских народных орнаментов [7, 14], так и в случае абстрактных симметричных узоров из криволинейных контуров [8–10].

Вместе с тем, трактуя понятие симметрии более широко, можно выйти за рамки классических движений и расширить перечень преобразований, приводящих к инвариантности двумерной фигуры, т. е. выделить дополнительные виды симметрии. Эти неклассические виды симметрии также могут быть положены в основу процесса синтеза декоративных изображений, используемых в графическом дизайне.

К таким дополнительным (неклассическим) видам симметрии [2, 3] можно отнести криволинейную симметрию и симметрию подобия.

В наиболее общем виде понятие криволинейной симметрии было заложено еще советским ученым Д. В. Наливкиным [15]. Согласно его наблюдениям, криволинейная симметрия широко распространена в органическом мире, главным образом среди животных и растительных организмов. Обычные плоскости и оси симметрии заменены здесь искривленными поверхностями и линиями.

Тема симметрии подобия рассматривалась в работах А. В. Шубникова [1, 16], а несколько позже — в работах А. М. Заморзаева и др. [17, 2, 18]. Согласно Шубникову [16], 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. Симметрия подобия проявляется в спиральной форме раковин, расположении листьев у растений, зональном строении кристаллов. Схематичные примеры симметрии подобия, сопряженной с различными движениями, приведены на рис. 1.

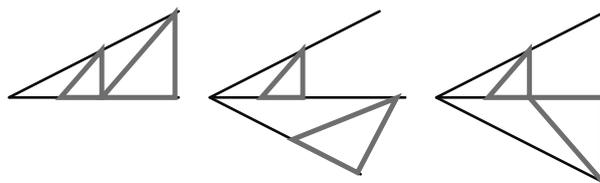


Рис. 1. Примеры симметрии подобия

Исходя из вышесказанного, к дополнительным преобразованиям, свойственным неклассическим вариантам симметрии, можно отнести движение по криволинейной оси и преобразование подобия, т. е. движение, совмещенное с изменением размеров.

При выполнении преобразования подобия в процессе синтеза симметричного узора каждый раз должен изменяться не только размер базового графического элемента, но и расстояние его перемещения, определяемое, как и новый размер, с помощью коэффициента подобия.

В случае криволинейной трансляционной симметрии дискретные движения повторяющегося графического элемента необходимо выполнять вдоль оси не прямой формы. Форму оси можно описать в декартовой системе координат как в явном виде математической функцией  $y = f(x)$ , так и в параметрическом виде функциями  $x = x(t)$  и  $y = y(t)$ . Последний способ является более громоздким, но вместе с тем обладает большей универсальностью, так как позволяет описать форму кривых, имеющих множество значений  $y$  при одном и том же значении  $x$ . Например, на основе параметрического описания можно реализовать симметрические трансляции по замкнутой криволинейной траектории.

При реализации синтеза изображений на основе базового графического элемента, перемещаемого по криволинейной оси, необходимо решить прикладную задачу ориентации его основания по касательной к криволинейной оси трансляций в той или иной точке этой оси. Решение этой задачи требует значения производной  $dy/dx$  в заданной точке кривой, что позволит осуществить разворот графического объекта в прямоугольной системе координат  $x, y$ . Нахождение значения производной функции может осуществляться по ее аналитическому выражению либо численным методом. Во втором случае точность определения производной, обусловленная величиной участков  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , должна быть согласована с величиной шага смещения графического объекта и его габаритными размерами.

Кроме того, при выполнении трансляции вдоль криволинейной оси требуется найти координаты точек  $x, y$  участков кривой заданной длины, соответствующей шагу переноса. Для решения этой задачи необходимо представить длину кривой в виде интегральной функции.

Если форма криволинейной оси задана в явном виде  $y = f(x)$ , то интегральная функция длины кривой  $l$  на отрезке  $[a; b]$  имеет следующий вид [19, с. 297]:

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

При параметрическом описании криволинейной формы трансляционной оси ( $x = x(t)$ ;  $y = y(t)$ ) интегральная функция ее длины  $l$  на участке  $t \in [a; b]$  описывается следующим выражением [19, с. 296]:

$$l = \int_a^b \sqrt{(x'(t))^2 + (y'(t))^2} dt. \quad (2)$$

По значениям этой функции, кратным шагу перемещения базового элемента вдоль криво-

линейной оси, можно найти искомые координаты точек. Необходимость в таких математических преобразованиях делает реализацию криволинейной трансляционной симметрии куда менее тривиальной задачей по сравнению с классическим параллельным переносом вдоль прямых осей.

Операции неклассической симметрии можно включить в состав алгоритма синтеза векторных криволинейных узоров, предложенного автором в предыдущих работах [9, 10]. Модифицированный алгоритм синтеза приведен на рис. 2, а. По данному алгоритму были сформированы симметричные векторные узоры с использованием стандартных инструментов программ векторной графики CorelDRAW и Adobe Illustrator, а также средств автоматизации симметрических преобразований программы Ornamentika [7].

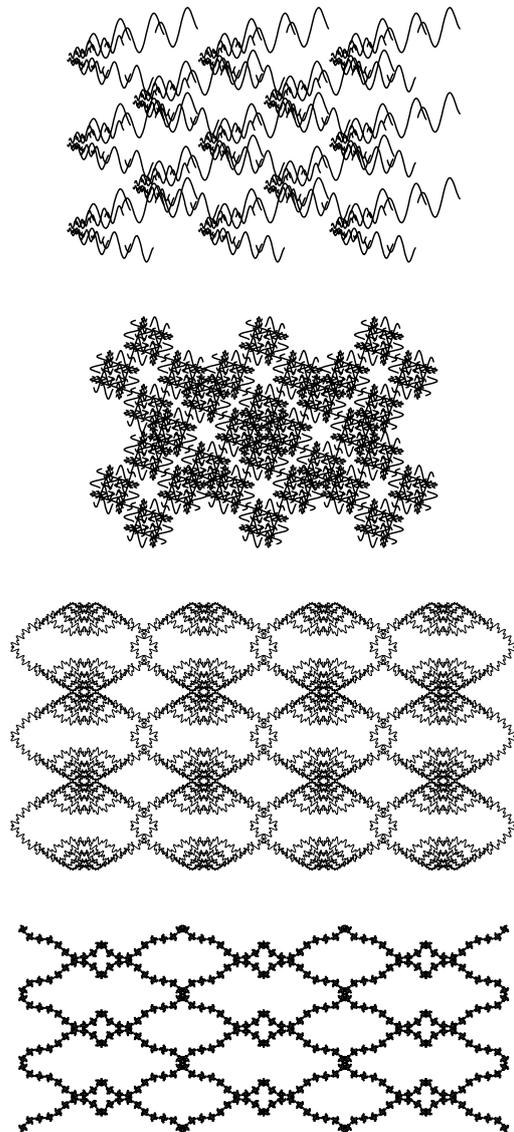


Рис. 2. Обобщенный алгоритм синтеза (а) и примеры сформированных симметричных узоров (б)

На данном этапе программной реализации алгоритма состав и перечень симметрических преобразований определяется пользователем в ручном режиме. В будущем как саму реализацию дополнительных симметрических преобразований, так и составление их цепочки, ведущей к синтезу симметричного узора, следует автоматизировать. Примеры сформированных изображений представлены на рис. 2, б. Результаты синтеза изображений по модифицированному алгоритму, который включает операции неклассической симметрии, говорят о возможности получать декоративные узоры разнообразной формы.

**Заключение.** В данной работе предложено осуществить синтез векторных узоров на

основе криволинейной трансляционной симметрии и симметрии подобия. Расширив перечень симметрических преобразований базового графического элемента за счет неклассических видов симметрии, можно сформировать большее количество симметричных узоров, используемых в декоративных и защитных целях. Для повышения производительности работы предложенный алгоритм синтеза следует реализовать в автоматическом режиме, написав специализированные подпрограммы для дополнительных видов симметрических преобразований и включив их в подпрограмму автоматического синтеза симметричных узоров.

### Литература

1. Шубников А. В., Копчик В. А. Симметрия в науке и искусстве. М.; Ижевск: Ин-т компьютерных исслед., 2004. 560 с.
2. Урманцев Ю. А. Симметрия природы и природа симметрии. М.: Мысль, 1974. 229 с.
3. Лебедева С. Е. Закон симметрии и его универсальный характер // Вестн. Псковского гос. ун-та. Сер.: Естественные и физико-математические науки. 2007. № 2. С. 107–111.
4. Дубина Н. Орнамент в декоративном оформлении книги // КомпьюАрт. 2000. № 8. С. 78–83.
5. Машинное орнаментирование / Т. В. Кочева [и др.]. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1999. 160 с.
6. Сипайло С. В., Долгова Т. А. Создание орнаментальных узоров для оформления белорусской книги // Белорусская книга в контексте мировой книжной культуры: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 7–8 февр. 2006 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т культуры и искусств. Минск, 2006. Ч. 2. С. 34–38.
7. 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.
8. Сипайло С. В. Автоматизация синтеза векторных криволинейных контуров со свойствами симметрии в CorelDRAW // Труды БГТУ. 2014. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 3–7.
9. Сипайло С. В. Реализация автоматического синтеза векторных узоров в дпечатном процессе на языке VBA // Труды БГТУ. 2015. № 9: Издат. дело и полиграфия. С. 125–129.
10. 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.
11. Adobe Illustrator CC. Официальный учебный курс. М.: Эксмо, 2014. 592 с.
12. Комолова Н., Яковлева Е. Самоучитель CorelDRAW X8. СПб.: БХВ-Петербург, 2017. 368 с.
13. Вейль Г. Симметрия. М.: Наука, 1968. 192 с.
14. Сипайло С. В., Долгова Т. А. Группы симметрии как основа автоматизированного синтеза векторных орнаментальных изображений // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. 2008. Вып. XVI. С. 11–14.
15. Наливкин Д. В. Криволинейная симметрия // Кристаллография. Труды Федоровской научной сессии 1949 г. М.: Металлургиздат, 1951. С. 15–23.
16. Шубников А. В. Симметрия подобия // Кристаллография. 1960. Т. 5, № 4. С. 489–496.
17. Галярский Э. И., Заморзаев А. М. О группах симметрии и антисимметрии подобия // Кристаллография. 1963. Т. 8, № 5. С. 691–698.
18. Яблан С. В. Симметрия, орнаменты и модулярность. М.; Ижевск: Ин-т компьютерных исслед.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. 365 с.
19. Гусак А. А., Гусак Г. М., Бричикова Е. А. Справочник по высшей математике. Минск: ТетраСистемс, 1999. 640 с.

### References

1. 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.
2. Urmantsev Yu. A. *Simmetriya prirody i priroda simmetrii* [Symmetry of nature and nature of symmetry]. Moscow, Mysl' Publ., 1974. 229 p.

3. Lebedeva S. E. The law of symmetry and its universal character. *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Pskov State University]. Series: Natural and physical and mathematical sciences, 2007, no. 2, pp. 107–111 (In Russian).
4. Dubina N. Ornament in the decorative design of the book. *Comp'yuArt* [CompuArt], 2000, no. 8, pp. 78–83 (In Russian).
5. Kocheva T. V., Chelpanov I. B., Nikiforov S. O., Ayusheva A. O. *Mashinnoe ornamentirovanie* [Machine ornamentation]. Ulan-Ude: BNC SO RAN Publ., 1999. 160 p.
6. Sipaila S. U., Dolgova T. A. Creating ornamental tracers for the decoration of Belarusian books. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Belorusskaya kniga v kontekste mirovoy knizhnoy kul'tury* [Materials of International scientific-practical conference "Belarusian book in the context of world book culture"]: in 2 parts. Minsk, 2006, part 2, pp. 34–38 (In Russian).
7. Sipaila S. U. Creation of ornamental images using embedded software module CorelDRAW. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. Series IX, Printing and Publishing, 2007, issue XV, pp. 17–20 (In Russian).
8. Sipaila S. U. Automation of synthesis of vector curved contours with symmetry properties in CorelDRAW. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 9: Printing and Publishing, pp. 3–7 (In Russian).
9. Sipaila S. U. Implementation automatic synthesis of vector patterns in prepress in language VBA. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 9: Printing and Publishing, pp. 125–129 (In Russian).
10. 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: Printing and Publishing, pp. 115–119 (In Russian).
11. *Adobe Illustrator CC. Ofitsial'nyy uchebnyy kurs* [Adobe Illustrator CC. Official Training Course]. Moscow, Eksmo Publ., 2014. 592 p.
12. Komolova N., Yakovleva E. *Samouchitel' CorelDRAW X8* [Self-study CorelDRAW X8]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2017. 368 p.
13. Weyl H. *Simmetriya* [Symmetry]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 192 p.
14. Sipaila S. U., Dolgova T. A. Symmetry group as the basis for the automated synthesis of ornamental vector images. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. Series IX, Printing and Publishing, 2008, issue XVI, pp. 11–14 (In Russian).
15. Nalivkin D. V. Curvilinear symmetry. *Kristallografiya. Trudy Fedorovskoy nauchnoy sessii 1949 g.* [Crystallography. Proceedings of the Fedorov Scientific Session, 1949]. Moscow, Metallurgizdat Publ. 1951, pp. 15–23 (In Russian).
16. Shubnikov A. V. Similarity symmetry. *Kristallografiya* [Crystallography], 1960, vol. 5, no. 4, pp. 489–496 (In Russian).
17. 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).
18. Jablan S. V. *Simmetriya, ornamenty i modulyarnost'* [Symmetry, Ornaments and Modularity]. Moscow – Izhevsk, Institut komp'yuternykh issledovaniy Publ., Scientific publishing center "Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika", 2006. 365 p.
19. 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 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), 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 14.08.2017*