ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

УДК 004.92

DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.464-469

ВАРИАЦИИ АЛГОРИТМИЗАЦИЙ ГЕОМЕТРОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТРИМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МОНОПРОЕКЦИЙ

Ю.О. Полежаев, А.Ю. Борисова

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

АННОТАЦИЯ. На всех этапах проектирования строительных объектов — от эскизных поисков до утвержденных разработок проектной документации — большое значение имеют изображения в качестве монопроекций, на которых эффективно и выразительно показаны его основные формы. Изучать построения таких монопроекций начинают еще на первом курсе высшей школы и затем используют при выполнении курсовых работ и дипломного проектирования.

Целью исследования являлся выбор предпочтительного алгоритма решения задачи построения монопроекций триметрических аксонометрий в условиях компьютеризации процессов отображения с учетом формы объекта и условий его презентации.

В статье рассмотрена методология построения монопроекций триметрических аксонометрий в условиях компьютеризации процессов отображения. Способы метрической фиксации точек объекта могут быть избраны при условиях: ортогональной координации в плоскостях репера; косоугольной зависимости; смешанной, т.е. орто-косоугольной координации; а также могут содержать при этом промежуточные преобразования для тех или иных упрощений.

Особое внимание уделено задачам построения монопроекций триметрических аксонометрий в условиях компьютеризации процессов отображения. Поскольку в таких случаях возрастает количество параметров необходимых геометрических преобразований, авторами обусловлена возможность использования тех или иных алгоритмов решения задачи.

На основании выполненных исследований сделаны выводы о возможных преобразованиях при получении модели монопроекций триметрии и значительном упрощении решения задач в проектировании строительных объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геометрические преобразования, моделирование, триметрические монопроекции, перспектива, картинная плоскость, репер, ротативные преобразования, аксонометрические проекции

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Полежаев Ю.О., Борисова А.Ю. Вариации алгоритмизаций геометрических моделей триметрических параллельных монопроекций // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 4 (103). С. 464–469. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.464-469

VARIATIONS OF ALGORITHMIZATIONS OF GEOMETROGRAPHIC MODELS OF TRIMETRIC PARALLEL MONOPROJECTIONS

Yu.O. Polezhaev, A.Yu. Borisova

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation*

ABSTRACT. At all stages of the construction design, from conceptual searches to approving the project documentation development, images are important as monoprotjections on which the construction basic forms are effectively and expressively shown. Studying the construction of such monoprotjections is began even in the first year of higher education, and then they are used to perform term papers and the thesis design.

Purpose of study is the choice of the preferred algorithm for solving the problem of constructing monometric projections of trimetric axonometries in the context of the mapping processe computerization, taking into account the form of the object and the conditions for its presentation.

In the article, the methodology of the trimetric axonometry monoprotjection formation is considered in conditions of the mapping processe computerization. The methods of the metric object point fixation can be selected under the following conditions: orthogonal coordination in the reference point planes; oblique dependence; mixed, i.e., ortho-oblique-angled coordination; they can also contain intermediate transformations for various simplifications.

Problems of constructing trimetric axonometry monoprotjections at the mapping processe computerization are considered. Since in such cases the number of parameters of the necessary geometrical transformation increases, it becomes possible to use various algorithms for solving the problem.

Based on the undertaken studies, conclusions were drawn on possible transformations for obtaining a trimetric monoprotjection model and greatly simplifying the solution of problems in the construction object design.

KEY WORDS: geometric transformations, modeling, trimetric monoprotjections, perspective, picture plane, reference point, rotational transformations, axonometric projections

FOR CITATION: Polezhaev Yu.O., Borisova A.Yu. Variatsii algoritimizatsiy geometrograficheskikh modeley trimetricheskikh parallel'nykh monoproektsiy [Variations of Algorithmizations of Geometrographic Models of Trimetric Parallel Monoprotjections]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 4 (103), pp. 464–469. (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.464-469

На всех этапах проектирования строительных объектов, от эскизных поисков до утвержденных разработок проектной документации, большое значение имеют изображения в качестве монопроекций, на которых эффективно и выразительно показаны основные формы объектов. Изучать построения таких монопроекций начинают еще на первом курсе высшей школы и затем используют при выполнении курсовых работ и дипломного проектирования. Качество стандартных аксонометрических проекций для молодых специалистов стремится к свободному, профессиональному овладению методологией построения триметрических аксонометрий [1–3]. В зависимости от формы объекта алгоритмы решения геометрографических преобразований триметрических монопроекций требуют разных условий. Так, например, способы метрической фиксации точек объекта могут быть выбраны при условии ортогональной координации в плоскостях репера; косоугольной зависимости; смешанной, т.е. орто-косоугольной координации; а также могут содержать при этом промежуточные преобразования для тех или иных упрощений [4–6].

Рассмотрим некоторые вариации алгоритмизаций геометрографического моделирования триметрических монопроекций объектов.

Пусть на метрическом эюре задан объект в форме параллелепипеда с вершинами (1; 2; ...; 8). Построим его триметрическую монопроекцию, используя два угла ротации φ_1^0 ; φ_2^0 . Первый угол $\varphi_1 = 60^\circ$ соотносится с поворотом объекта вокруг оси z репера, второй $\varphi_2 = 40^\circ$ применяется для вращения репера вокруг оси y . При этом плоскость $z; y$

в новой позиции избирается картиной P для ранее повернутого объекта на угол φ_1^0 . Построения преобразований объекта и репера представлены на рис. 1.

В частности, можно проследить построения, относящиеся к преобразованиям точки 2 объекта. Монопроекция объекта построена на картину $(0_p; z_p; y_p)$ и показана в натуральную величину на рис. 1.

Построение второй модели ротативных преобразований для прежнего исходного объекта также связано с двумя углами ротации (φ_1^0 ; φ_2^0). Однако первый угол относится к вращению репера вокруг оси z , а второй также используется к повороту репера, но вокруг оси y . На рис. 2 показаны названные преобразования, при этом объект остается неподвижным [7–9].

Сначала можно построить ось y^* , используя для новой позиции оси угол $90^\circ - \varphi_1^0$. На эту ось будем ортогонально фиксировать координаты y_p для натуральной величины отображения объекта на картину. После первой ротации репера его фронтальная плоскость будет содержать аппликаторы z вершин объекта, равные исходным на соответственных линиях связи. Сюда же строится новая позиция $*Z_p$ с использованием угла $\varphi_2 = 40^\circ$. На эту ось ортогонально проецируем точки объекта. В итоге по величинам $*y_p$; $*z_p$ легко определяется искомая триметрическая монопроекция объекта.

Анализируя изображение монопроекции объекта на картину P $0_p; z_p; y_p$, например, для первой модели, выделим пару каких-либо его ребер (рис. 3). Пусть это будет ребро i_p для отрезков: нижнего (5; 6) и верхнего (3; 4); где прямая (10; 11) опре-

Рис. 1. Алгоритм геометрографии ротативных преобразований при использовании φ_1^0 ; φ_2^0 для объекта и репера

деляет направление к плоскости P , являясь ортонаправлением отображения объекта. Используя пропорцию нижнего отрезка (5; 10; 6) и верхнего (4; 11; 3), на исходном изображении метрического эпюра можно определить направление (11; 10) отображения объекта на картину P для проекций на H и V .

Поскольку направление (11; 10) отображения объекта, для которого начало репера слева, будет фиксировать одну и ту же искомую фигуру на любую из картин параллельных плоскости P , выбрать позицию P можно, поместив вершины x_p, y_p, z_p ее треугольника следов на оси x в точке 0. Учитывая ортогональность отображения к плоскости P , следы P_H и P_V легко определяются на исходном эпюре с рис. 3.

В свою очередь можно говорить о третьей модели параллельной триметрической монопроекции построения пространственной модели объекта с использованием параметров отображения: направления (11; 10) и картины P , заданной следами P_H, P_V . Такое построение должно совпадать — и оно совпадает — с предварительно построенными при использовании угловых параметров φ_1^0 и φ_2^0 . На рис. 4 показана позиция точки $7 = 7_p$, построенная с помощью отрезка Δ_1 следа $1P_p$ и отрезка Δ_2 следа $2P_p$, а также соответствующая композиция преобразований и натуральная величина фигуры монопроекции объекта в триметрии.

Таким образом, сравнение трех моделей отображения объекта позволяет констатировать следующие взаимосвязанные свойства рассмотренных геометрических методов:

1. Все три метода приводят к сходящемуся результату.

2. Вторая «угловая» методика может считаться минимизированной по количеству операций в отношении к первой.

3. Поскольку проектируемый объект традиционно формируется на проекционном метрическом эпюре [10–12], любая его параллельная монопроекция может быть построена при сохранении свойств ортогональности картины P и направления отображения V_{is} .

4. При условии задания объекта в метрическом репере, плоскости картины P и ортонаправления отображения V_{is} пользователь той или иной монопроекционной модели триметрии должен ввести условие градиента направления для лучей отображения. В следствие этого появляется обратимость «видимости» ребер скрещивания объекта в его материальной среде [12–14].

5. В учебной и проектной практиках построения фигур параллелепипедов в качестве искомым для них монопроекций являются не только простыми, но и необходимыми, так как их объемы могут включать габариты форм объектов любой сложности.

В заключение отметим, что предложенные модели монопроекций триметрии не исчерпывают количество возможных преобразований. Однако они являются основными для практики проектирования [15–17], и потому изучение названной тематики необходимо в курсах инженерной и компьютерной графики университетского образования. В частности, построения светотеневых тональных эффектов

Рис. 2. Алгоритм геометрографии ротативных преобразований φ_1^0, φ_2^0 для метрического репера

Рис. 3. Построение направления отображения и плоскости картины на исходном эюре

Рис. 4. Композиция преобразований проекционной модели объекта при использовании второго и третьего алгоритмов

на поверхностях внешних и внутренних форм строительных объектов при использовании того или иного названного алгоритма геометриграфического моделирования значительно упрощает решение задач и позволяет оптимизировать конструктивные, инженерные, архитектурные проектируемые каче-

ства объекта. Заметим также, что метод геометрографии для отображения объектов не только значительно упрощает их решения, но возникающие визуальные свойства монопроекций способствуют возможности эстетических оценок качества форм и объемов [19, 20].

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилкина Т.А. Роль пространственного мышления в практике преподавания графических дисциплин в технических вузах // Наука и образование: проблемы и тенденции : мат. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Уфа, 20–21 декабря 2013 г.): в 3-х ч. Уфа : БашГУ, 2013. Часть II. С. 142–146.
2. Поля Д. Математическое открытие. Решение задач: основные понятия, изучение и преподавание / пер. с англ. В.С. Бермана; под ред. и с предисл. И.М. Яглома; 3-е изд. М. : Наука, 2010. 448 с.
3. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики / пер. с англ. П.А. Монахова ; под ред. Ю.М. Баяковского. М. : Мир, 2001. 604 с.
4. Полежаев Ю.О., Борисова А.Ю. Геометрография — язык визуализации структурируемых объектов. М. : НИУ МГСУ, 2015. 104 с.
5. Полежаев Ю.О., Борисова А.Ю., Иванов Н.А. Геометрографические проекционные знаки при использовании конического аппарата отображения // Информатизация инженерного образования : тр. междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 12–13 апреля 2016 г.). М. : Издательский дом МЭИ, 2016. С. 192–195.
6. Kalová J. Higher dimensions in math education // Информатизация инженерного образования : тр. междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 12–13 апреля 2016 г.). М. : Издательский дом МЭИ, 2016. С. 11–14.
7. Вольнсков В.Э. Пространственное формобразование и его архетипы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2009. № 13. С. 124–129.
8. Вольберг О.А. Основные идеи проективной геометрии / под ред. Н.В. Ефимова. 4-е изд. М. : Едиториал УРСС, 2009. 192 с. (Науку всем — Шедевры научно-популярной литературы)
9. Цахариас М. Введение в проективную геометрию / пер. с нем. 2-е изд. М. : ЛИБРОКОМ, 2010. 90 с. (Физико-математическое наследие: математика (геометрия))
10. Semple J., Kneebone G. Algebraic Projective Geometry. Oxford : Oxford University Press, 1952.
11. Coxeter H.S.M. Projective Geometry. New York : Blaisdell, 1964.
12. Мартынюк А.Н., Матвеев О.А., Птицына И.В. Элементы проективной геометрии. М. : МГОУ, 2010. 134 с.
13. Полежаев Ю.О., Борисова А.Ю., Кондратьева Т.М. Линейные пучки в циркульно-эллиптических соответствиях // Вестник МГСУ. 2012. № 6. С. 62–67.
14. Гильберт Д., Кон-Фоссен С. Наглядная геометрия / пер. с нем. С.А. Каменецкого. 5-е изд. М. : Едиториал УССР, 2010. 344 с.
15. Федоров Е.С. Начала учения о фигурах. 2-е изд. М. : ЕЕ Медиа, 2012. 418 с.
16. Гильберт Д. Основания геометрии / пер. с нем. изд. И.С. Традштейна; под ред. с вступ. ст. Л.К. Рашевского. М ; Л. : ОГИЗ, 1948. 491 с.
17. Клейн Ф. Неевклидова геометрия / пер. с нем. Н.К. Брушлинского. М ; Л. : ГГТИ, 1936. 356 с.
18. Лелон-Ферран Ж. Основания геометрии / пер. с франц. В.В. Рыжкова. М. : Мир, 1989. 312 с.
19. Гусакова И.М. Роль тонального рисунка на поисковом этапе работы над декоративной композицией по дисциплине «Материаловедение, технология и производственное обучение» // Преподаватель XXI век. 2014. Т. 1. № 1. С. 170–175.
20. Полежаев Ю.О., Донская О.В. Особенности взаимосвязей инженерно-технического и художественного рисунка. К вопросу о возрождении академических традиций // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник МГХПА. 2012. № 2–2. С. 247–252.

Поступила в редакцию в июле 2016 г.

Принята в доработанном виде в августе 2016 г.

Одобрена для публикации в феврале 2017 г.

Об авторах: **Полежаев Юрий Олегович** — доцент, доцент кафедры начертательной геометрии и графики, член интернационального Союза художников России, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 183-24-83, grafika@mgsu.ru;

Борисова Анжелика Юрьевна — кандидат технических наук, доцент, кафедры начертательной геометрии и графики, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 183-24-83, grafika@mgsu.ru.

REFERENCES

1. Zhilkina T.A. Rol' prostranstvennogo myshleniya v praktike prepodavaniya graficheskikh distsiplin v tekhnicheskikh vuzakh [Role of the Spatial Thinking in the Practice of Teaching Graphic Disciplines in Technical Higher Education Establishments]. *Nauka i obrazovaniye: problemy i tendentsii : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (g. Ufa, 20–21 dekabrya 2013 g.): v 3-kh ch; *Chast' II*. [Science and Education: Problems and Trends: proc. of the international scientific-practical conference (Ufa, December 20–21, 2013): in 3 parts. Part II]. Ufa, BashGU, 2013, pp. 142–146. (In Russian)
2. Polya G. *Mathematik und plausible Schliessen* [Mathematics and Plausible Reasoning]. Birkhäuser, Basel 1988.
3. Rogers D., Adams J. *Mathematical Elements for Computer Graphics*, McGraw-Hill, 1976.
4. Polezhayev Y.O., Borisova A.Y. *Geometrografiya — yazyk vizualizatsii strukturiruyemykh ob'yektov* [Geometro-

raphy as the Language of the Structured Objects Visualization]. Moscow, NIU MGSU Publ., 2015, 104 p. (In Russian)

5. Polezhayev Y.O., Borisova A.Y., Ivanov N.A. Geometrograficheskiye proyektionnyye znaki pri ispol'zovanii konicheskogo apparata otobrazheniya [Geometrographic Projection Signs when using a Conical Display Device]. *Informatizatsiya inzhenerenogo obrazovaniya : trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Moskva, 12–13 aprelya 2016 g.)* [Engineering Education Informatization : proc. of the International Scientific-practical Conference (Moscow, April 12–13, 2016)]. Moscow, Izdatel'skiy dom MEI Publ., 2016, pp. 192–195. (In Russian)

6. Kalová J. Higher Dimensions in Math Education. *Informatizatsiya inzhenerenogo obrazovaniya : tr. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Moskva, 12–13 aprelya 2016 g.)* [Engineering Education Informatization: proc. of the International Scientific-practical Conference (Moscow, April 12–13, 2016)]. Moscow, Izdatel'skiy dom MEI Publ., 2016, pp. 11–14.

7. Volynskov V.E. Prostranstvennoye formoobrazovaniye i yego arkhetypy [Patial Morphogenesis and Its Archetypes]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the Volgograd State Architectural and Construction University. Library: Building and Architecture]. 2009, no. 13, pp. 124–129. (In Russian)

8. Volberg O.A. *Osnovnyye idei proyektivnoy geometrii* [Basic Ideas of the Projective Geometry]. 4th ed. Moscow, Yeditorial URSS Publ., 2009. 192 p. (Nauku vsem — Shedevry nauchno-populyarnoy literatury [Science for Everybody — Masterpieces of the Popular Scientific Literature]). (In Russian)

9. Zacharias M. *Einführung in die projektive Geometrie* [Introduction to the Projective Geometry]. Ulan Press, 2012. (In German)

10. Semple J. Kneebone G. *Algebraic Projective Geometry*. Oxford, Oxford University Press, 1952.

11. Coxeter H.S.M. *Projective Geometry*. NY, Blaisdell, 1964.

12. Martynyuk A.N., Matveyev O.A., Ptitsyna I.V. *Elementy proyektivnoy geometrii* [Elements of the Projective Geometry]. Moscow, MGOU Publ., 2010. 134 p. (In Russian)

13. Polezhayev Y.O., Borisova A.Y., Kondrat'yeva T.M. Lineynyye puchki v tsirkul'no-ellipticheskikh sootvetstviyakh [Linear Bundles in Circular-elliptical Correspondences]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 6, pp. 62–67. (In Russian)

14. Hilbert D., Cohn-Vossen S. *Anschauliche Geometrie* [Geometry and the Imagination]. Berlin, Springer, 1996. 365 p. (In German)

15. Fedorov Y.S. *Nachala ucheniya o figurakh* [Foundations of the Doctrine of Figures]. 2nd ed. Moscow, YeYe Media Publ., 2012. 418 p. (In Russian)

16. Hilbert D. *Grundlagen der Geometrie* [Foundations of Geometry]. Leipzig, Teubner, 1903. (In German)

17. Klein F.C. *Vorlesungen über Nicht-Euklidische Geometrie* [Lectures on Non-Euclidean Geometry]. Berlin, Springer, 1928. (In German)

18. Lelong-Ferrand J. *Les Fondements de La Geometrie* [Foundations of the Geometrie]. Presses universitaires de France; 1985. 287 p. (In French)

19. Gusakova I.M. Rol' tonal'nogo risunka na poiskovom etape raboty nad dekorativnoy kompozitsiyey po disipline «Materialovedeniye, tekhnologiya i proizvodstvennoye obucheniyey» [Role of the Tonal Drawing in the Search Stage of the Work on a Decorative Composition in the Discipline “Material Science, Technology and Industrial Training”]. *Prepodavatel' XXI vek* [Teacher XXI Century]. 2014, vol. 1, no. 1, pp. 170–175. (In Russian)

20. Polezhayev Y.O., Donskaya O.V. Osobennosti vzaimosvyazey inzhenerno-tekhnicheskogo i khudozhestvennogo risunka. K voprosu o vozrozhdenii akademicheskikh traditsiy [Features of the Interrelations between the Engineering-technical and Art Drawing. Revisiting the Revival of the Academic Traditions]. *Dekorativnoye iskusstvo i predmetno-prostranstvennaya sreda. Vestnik MGKHPA* [Decorative Art and Objective-Spatial Environment. Bulletin of the Moscow State Stroganov Academy of Industrial and Applied Arts]. 2012, no. 2–2, pp. 247–252. (In Russian)

Received in July 2016.

Adopted in revised form in August 2016.

Approved for publication in February 2017.

About the authors: **Polezhaev Yuri Olegovich** — Associate Professor, Associate Professor of Department of Descriptive Geometry and Graphics, Member of the International Union of Russian Artists, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337, grafika@mgsu.ru, +7 (499) 183-24-83;

Borisova Anzhelika Yurievna — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Descriptive Geometry and Graphics, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337, grafika@mgsu.ru, +7 (499) 183-24-83.