

Список литературы: 1. Hernandez, E. Adaptive Sampling for Network Management [Text] / E. Hernandez, M. Chidester, A. George // Journal of Network and Systems Management. – 2001. – Vol. 9, № 4. – P. 409-434. 2. Саенко, В. И. Метод выбора моментов измерений для процессов непрерывного мониторинга [Текст] / В. И. Саенко, А. И. Гриценко // Радиоэлектроника и информатика. – 2007. – №4. – С. 119-122. 3. Айвазян, С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики [Текст] / С.А. Айвазян, В. С. Мхитарян // Юнити. – 1998. 4. Стрижов, В. В. Методы выбора регрессионных моделей [Текст] / В. В. Стрижов, Е. А. Крымова // Вычислительный центр РАН. – 2010. 5. Карабутов, Н. Н. Выбор структуры модели при обработке результатов измерений в системах управления [Текст] / Н. Н. Карабутов // Измерительная техника. – 2008. – № 9. – С. 29-33. 6. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения [Текст]. – Введ. 1992-01-01. 7. Lee, Y. Tina. Information Modeling: From Design To Implementation [Text] / Y. Tina Lee // Proceedings of the 2nd World Manufacturing Congress, Durham (United Kingdom). – 1999. – Vol. 1. – P. 315-321. 8. IETF Std. 58, RFC 2578. Structure of Management Information Version 2 (SMIv2) [Text]. – April 1999. 9. DMTF Std. DSP0004, Specification Version 2.6.0. Common Information Model (CIM) Infrastructure [Text]. – March 2010. 10. Framework Shared Information/Data Model [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.tmforum.org/InformationFramework/1684/home.html. 11. ITU-T Std. M.3100. Generic network information model [Text]. – April 2005. 12. Грешилов, А. А. Математические методы построения прогнозов [Текст]. / А. А. Грешилов, В. А. Стакун // Радио и связь. – 1997.

Bibliography (transliterated): 1. Hernandez, E., Chidester, M., George, A. (2001). Adaptive Sampling for Network Management. Journal of Network and Systems Management, Vol. 9, № 4, 409-434. 2. Sayenko, V., Grytsenko, O. (2007). A method of choosing observed variables for processes of continuous network monitoring. Radioelectronics and Informatics. Kharkov: KNURE, №4, 119-122. 3. Ayvazyan, S. A., Mkhitaryan, V. S. (1998). Applied statistics and fundamentals of econometrics. Moscow: Uniti. 4. Strijov, V. (2010). Methods of regression model selection. Moscow: Computing Center RAS. 5. Karabutov, N. N. (2008). Selection of the structure of a model in processing the results of measurements in control systems. Measurement Techniques, Vol. 51, № 9, 29-33. 6. GOST 34.003-90. (1992). Information technology. Set of standards for automated systems. Automated systems. Terms and definitions. 7. Lee, Y. T. (1999). Information modeling: from design to implementation. Proceedings of the 2nd world manufacturing congress. Durham, Vol. 1, 315-321. 8. IETF Std. 58, RFC 2578. (1999). Structure of Management Information Version 2 (SMIv2). 9. DMTF Std. DSP0004, Specification Version 2.6.0. (2010). Common Information Model (CIM) Infrastructure. 10. Framework Shared Information/Data Model. URL: www.tmforum.org/InformationFramework/1684/home.html. 11. ITU-T Std. M.3100. (2005). Generic network information model. 12. Greshilov, A. A., Stakun, V. A. (1997). Mathematical methods of forecast. Moscow: Radio i sviaz.

Надійшла (received) 11.06.2014

УДК 004.922, УДК 623.438.3.001.85

П. А. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»;

А. А. ЗУЕВ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»;

К. Н. ЯЦЕНКО, аспирант, НТУ «ХПИ»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЕКЦИЙ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

В статье приводится обзор проекций применяемых в системах визуализации. Проведен сравнительный анализ прямой перспективы, перцептивной перспективы и проекции Панини. Рассмотрены математические модели проективных преобразований. На основании этого

© П. А. КАЧАНОВ, А. А. ЗУЕВ, К. Н. ЯЦЕНКО 2014

определены основные преимущества и недостатки при создании изображения трехмерной сцены на плоскости. Представлены сведения о пространственном восприятии человеком окружающего мира. Сделаны выводы относительно практического применения рассмотренных проективных преобразований в компьютерной графике, а так же о возможности реализации.

Ключевые слова: прямая перспектива, перцептивная перспектива, проекция Панини, ведута, Раушенбах, большой угол обзора.

Введение. Компьютерная графика достигла больших успехов в виртуализации моделируемой среды. Современные графические системы способны в реальном времени визуализировать большие пространства с высокой степенью детализации, наблюдаемые в реальном мире физические процессы. Создание реалистических изображений, которые воспроизводят картину реального мира в соответствии со зрительными ощущениями человека, является одной из главных задач компьютерной графики. Одной из областей применения компьютерной графики, которая требует решения данной задачи, является создание имитационно-тренажерных комплексов, которые в максимально возможной степени приближены к реальным установкам и позволяют тренирующимся приобрести правильные и устойчивые навыки.

Цель работы. Сравнительный анализ систем перспектив применяемых в компьютерной графике, которые позволили бы получить изображение максимально соответствующее психофизическим особенностям зрительного восприятия человека при больших углах обзора, на малых расстояниях до объектов.

Методика экспериментов. В литературе рассмотрены методы проекции из трехмерного пространства на плоскость, применяемые в компьютерной графике. Кроме прямой перспективы, отдельный интерес представляет нелинейная перспектива и ее возможные вариации.

Прямая перспектива. Пусть в декартовой системе координат XYZ , начало которой совпадает с оптическим центром глаза в точке O , задана точка $P = [x, y, z]$, видимая под углом θ (на рис.1 показана проекция пространства YOZ). Перпендикулярно главному лучу зрения, совпадающему с осью OZ , задана плоскость $z = z_0$, называемая картинной плоскостью K . Ренессансная система перспективы, в основе которой лежит геометрическая оптика, предполагает, что изображение точки P (Рис.2) образуется путем пересечения луча OP с картинной плоскостью K в точке P''' . При этом:

$$P''' = [x''', y''', z'] = P f'''(z) = P \frac{z'}{z}, \quad (1)$$

где $f'''(z) = z' / z$ – функция ренессансного проективного преобразования.

Изображение на сетчатке глаза от природы (точка P) и от ее изображения на картине (точка P''') будет одинаковым, поскольку в точке O расположен центр проекции глаза. «Тождественность сетчатого образа, порожденного картиной, позволяет условно утверждать, что в системе ренессансной перспективы изображается сетчаточный образ» [1].

Перцептивная перспектива. При построении в системе перцептивной перспективы исходят из того, что должно изображаться зрительно

воспринимаемое пространство, а не его оптический образ на сетчатке. Из работ психологов следует, что над сетчаточными образами предметов выполняются операции, подобны обратным проективным преобразованиям [2]. Чтобы воссоздать объективное пространство, зрительная система должна либо измерять расстояние до точки P , либо определять координаты $[x, y]$ точки путем параллельной проекции из центра в $-\infty$. На основе экспериментов по зрительному восприятию размеров предметов посредством кажущегося параллельного проектирования было показано, что центр проекции системы «глаз + мозг» (системы, которая видит, формируя пространственный облик натуральной среды – перцептивное пространство) не совпадает с точкой O , но и не расположен в $-\infty$ [1– 3]. Он смещен вдоль оси OZ в точку E' на расстояние d , которое оказалось личностной константой наблюдателя $d = (z_0/\alpha) - z_0$, где α – коэффициент сжатия пространства в точке P , и является функцией координат

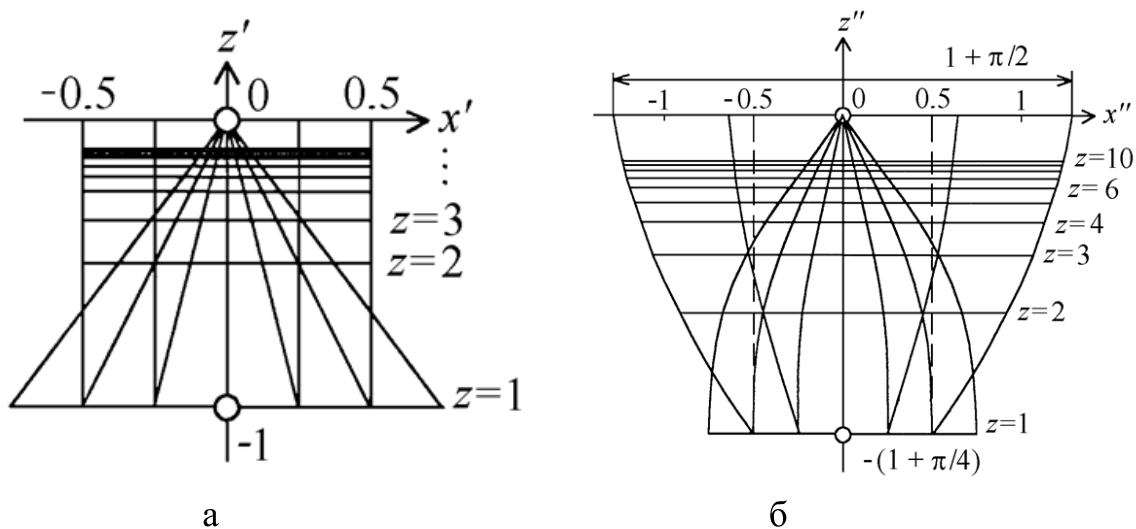


Рис. 1 – Пространство изображений:
а – линейное, б – нелинейное

точки пространства $\alpha = \alpha(x, y, z)$ [1]. В результате исходная точка P проецируется на картинную плоскость вдоль луча $E'P$ в точку P' , абсцисса и ордината которой равны абсциссе x'' и ординате y'' точки P'' . Аппликата z'' находится из условия, что на сетчатке создается один и тот же образ от точки P и от ее изображения P'' , т.е. из центра проекции O точка P'' видна под углом θ . При этом:

$$P'' = [x'', y'', z''] = P f''(z) = P \frac{z_0 + d}{z + d}, \quad (2)$$

где $f''(z) = \frac{z_0 + d}{z + d} = \left\| \text{подстановка } d \right\| = \frac{1}{(\alpha/z_0)z + 1 - \alpha}$ – функция перцептивного проективного преобразования. Из (1) и (2) видно основное отличие ренессансной и перцептивной перспектив. Если первая формирует плоское изображение на картинной плоскости K , то вторая – объемное изображение в так называемом перцептивном пространстве.

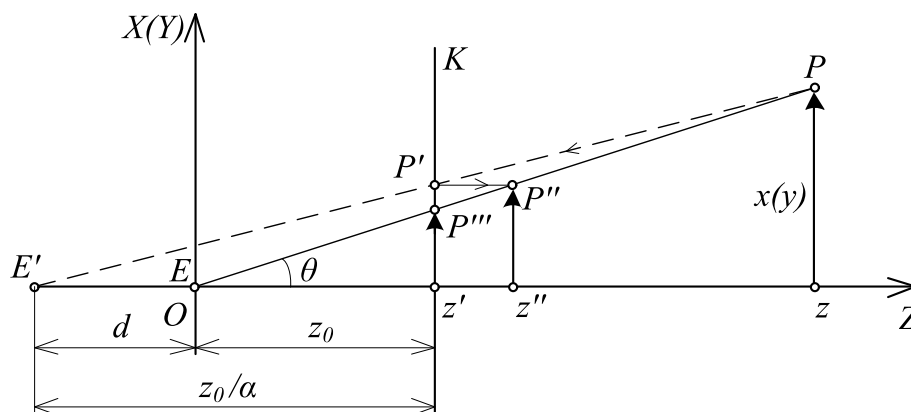


Рис. 2 – Проекция пространства на плоскость YOZ для прямой и перцептивной проекции

Для ренессансной перспективы наличие картинной плоскости $z = z_0 \neq 0$ имеет принципиальное значение, поскольку при размере поля зрения θ и различном удалении картинной плоскости $z = z_0 > 0$ от наблюдателя изменяется лишь размер или масштаб картины, что является практически несуществующим параметром изображения. Для перцептивной перспективы плоскость $z = z_0$ задает масштаб объемного изображения. Функцию проективного преобразования из (2) можно переписать следующим образом:

$$f''(z) = \frac{d}{z+d} \left(1 + \frac{z_0}{d} \right) = \frac{d}{z+d} k'', \quad (3)$$

где $k'' = 1 + \frac{z_0}{d}$ – масштабный коэффициент. При $z_0 > 0$ получаем увеличенное изображение, при $z_0 < 0$ и $|z_0| < d$ – уменьшенное. При $z_0 = 0$ масштаб перцептивного пространства $k'' = 1:1$.

Проекция Панини (Ведута). Проекция Панини представляет собой семейство частичных отображений между поверхностью сферы и плоскостью [4–9]. На поверхность сферы, центр которой совпадает с центром декартовой системы координат, проецируется изображение трехмерного пространства сцены, путем конического проецирования, центром которого является центр сферы. Радиус сферы $r = 1$. Точка M – проекция на сферу точки P пространства сцены. Картинная плоскость K касательная к сфере в точке $H(0, 0, 1)$, координаты точек плоскости обозначим через (h, v) . Координаты точек проекции на поверхности сферы выражаются через полярные координаты: долгота φ – угол измеряемый в плоскости $y = 0$ относительно отрицательного значения оси z ; полярное расстояние (широта) θ – угол наклона относительно оси z . В данную геометрическую модель вписывается цилиндр C с радиусом $r = 1$, ось которого совпадает с осью Y . Базовая проекция Панини представляет собой гномоническую проекцию трехмерного цилиндрического изображения, которое является линейной проекцией изображения сферы на касательный цилиндр. На плоскости отображается полученный перспективный вид части сцены.

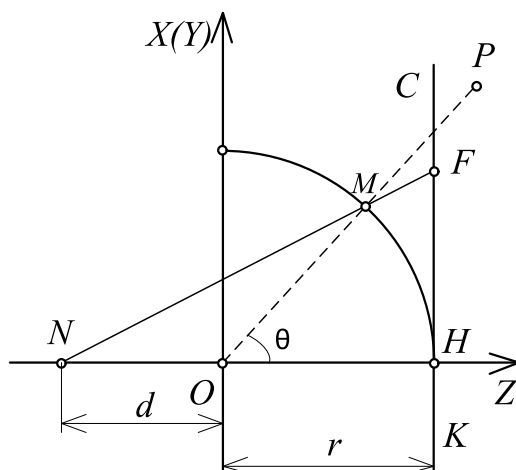


Рис. 3 – Проекция пространства на плоскость YOZ для проекции Панини

Центр гномонической проекции находится на оси наблюдения Z на расстоянии d от оси цилиндра. Таким образом, d является z координатой этой точки. Параметр d , который может принимать любые положительные значения, определяет форму проекции: $d = 0$ – гномоническая проекция; $d = 1$ – цилиндрическая стереографическую проекция; $d \rightarrow \infty$ цилиндрическая ортографическую проекция.

Декартовы координаты точки на поверхности цилиндра:

$$x = \sin(\varphi), \quad y = \operatorname{tg}(\theta), \quad z = -\cos(\varphi)$$

Расстояние от центра проекции N до картинной плоскости равно $d + 1$, а расстояние от центра проекции до параллельной плоскости содержащей точку цилиндра составляет $d + \cos(\varphi)$. Их отношение:

$$S = \frac{d+1}{d+\cos(\varphi)} \quad (4)$$

является гномоническим проекционным масштабным коэффициентом для точки. Таким образом, проецирование со сферы на плоскость определяется следующими преобразованиями:

$$h = S * \sin(\varphi) \quad (5)$$

$$v = S * \operatorname{tg}(\theta) \quad (6)$$

Взаимобратное горизонтальное отображение приводит к квадратичному уравнению, которое получается из (5) и $\sin^2(\varphi) + \cos^2(\varphi) = 1$. Решая относительно $\cos(\varphi)$, который не зависит от знака h , можно вычислить S и определить аналитически инверсии (5) и (6) функцией $\operatorname{atan}2$, что позволит избежать погрешностей функций $\arcsin()$ и $\arccos()$ для аргументов близких к 1:

$$k = h^2 / (d + 1)^2. \quad (7)$$

Дискриминант квадратичной формы сводится к $\Delta = k^2 d^2 - (k + 1)(k d^2 - 1)$.

При $\Delta < 0$ решения нет, а в остальных случаях:

$$\cos(\varphi) = \frac{-kd + \sqrt{\Delta}}{k+1} \quad (8)$$

$$S = \frac{d+1}{d+\cos(\varphi)} \quad (9)$$

$$\varphi = \text{atan2}(h, S * \cos(\varphi)) \quad (10)$$

$$\theta = \text{atan2}(v, S) \quad (11)$$

Максимум горизонтального угла обзора изменяется с величиной d . Для $d \leq 1$ достигается практический предел ширины изображения, поскольку проекция параллельна плоскости наблюдения. При $d = 0$ теоретический предел составляет 180° , а на $d = 1$ составляет 360° . Для $d > 1$ максимум угла обзора опять сжимается, приближая к 180° при $d \rightarrow \infty$. Теоретический предел угла обзора (в радианах):

$$F = 2\arccos\left(-\begin{cases} \frac{1}{d}, d > 1 \\ d, \text{ в остальных случаях} \end{cases}\right)$$

Базовая проекция Панини изображает поперечные горизонтальные линии искривленными, с максимальной кривизной в центре изображения.

В компьютерной графике до сих пор для отображения трехмерной сцены на экране монитора применяется прямая перспектива. Это обусловлено простотой ее реализации и необходимыми при этом вычислениями. Такая система перспективы подразумевается во всех широко распространенных интерфейсах программирования приложений (API – Application Program Interface) для трехмерной графики, например OpenGL и Direct3D, а так же в аппаратном обеспечении компьютеров – видеоадаптерах.

Строго говоря, прямая перспектива не соответствует естественному зрительному восприятию человека. Более того, как показано в работе [10] безошибочно изобразить пространство на плоскости принципиально невозможно. Таким образом, применение прямой линейной перспективы в компьютерной графике для решения задач визуализации трехмерных сцен, не может удовлетворять современным требованиям, предъявляемым к реалистичности изображений.

Материалами исследований послужили работы академика Раушенбаха Б.В. [1,10], в которых рассматривается нелинейное перспективное проецирование, а так же работы Ковалева А.М посвященные данной проблеме [11–13]. Дополнительным источником послужили работы художников XVIII века, выполнены в жанре ведута, а также проекция Панини – модель, позволяющая реализовать подобные изображения.

Обсуждение результатов. Рассматривая системы проекций, с точки зрения пригодности для отображения виртуального пространства на малых расстояниях до объектов при больших углах обзора, следует заметить, что прямая перспектива изображает объекты на малых расстояниях искаженно вследствие того, что не учитывает механизма константности величины. В результате на

плоских изображениях близкие предметы оказываются излишне увеличенными, а далекие – слишком уменьшенными. Нелинейная перспектива по Б.В.Раушенбаху включает механизм константности величины на малых расстояниях и прямую перспективу - на больших. В результате возникает аксонометричность близких предметов, увеличиваются в размерах удаленные предметы, и, кроме того, проявляется удивительный эффект обратной перспективы при монокулярном наблюдении предметов в ракурсе [10, С. 263–270].

Существенным ограничением предложенной системы является нарушение интерпозиции объектов, что не дает возможности отобразить на плоскости трехмерное пространство однозначно и неискаженным. Кроме этого в системе учитывается личностная константа наблюдателя, полученные зависимости эмпиричны, их трудно реализовать на практике в виде программного обеспечения трехмерной графики. Кроме того, есть ограничения, которые приводят к отсутствию общности.

Проекция Панини представляет собой математическую модель создания перспективных изображений с большим углом обзора. Она обладает следующими отличительными свойствами: почти всегда имеет центральную исчезающую точку; не смотря на широкий угол обзора, отсутствует перспективное искажение; сжатое пространство: объекты расположенные вблизи центральной исчезающей точки кажутся увеличенными и близко расположенными, остальная часть сцены не кажется слишком увеличенной.

Проекция Панини представляет собой цилиндрический аналог сферической стереографической проекции. Она обладает несколькими полезными свойствами: горизонтальное угловое сжатие по сравнению с гномонической проекцией; горизонтальное расположение пропорционально тангенсу половины угла зрения, а не к тангенсу всего угла зрения; прямые вертикальные линии остаются прямыми; все радиальные линии (те, которые проходят через центр наблюдения) отображаются прямыми.

Выводы. Из рассмотренных систем перспектив наибольший интерес для применения в компьютерной графике представляет проекция Панини. Ее главное отличие от нелинейной проекции Б.В. Раушенбаха заключается в том, что отсутствуют эмпирические зависимости, отсутствуют личностные константы наблюдателя, коэффициент сжатия пространства строго определен сферой и цилиндром, использованными при проецировании на картинную плоскость. Эта общность позволит упростить вычисления и получить изображения по своим характеристикам близким к перцептивной перспективе Раушенбаха. Также интерес представляют новые поверхности промежуточного проецирования, которые стали бы альтернативой используемого ранее цилиндра.

Список литературы: 1. Раушенбах, Б. В. Системы перспективы в изобразительном искусстве. Общая теория перспективы. / Раушенбах Б. В. – М.: Наука, 1986. – 256 с. 2. Зенкин, Г. М., Петров А. П. О механизмах константности зрительного восприятия пространства. / Зенкин Г. М., Петров А. П. // Сенсорные системы. Л.: Наука, 1979. 3. Ковалев, А. М. Об увеличении предметов в перцептивном пространстве. / Ковалев А. М. // Автометрия. – 2002. – Т. 38, №5. 4. Sharpless T. K., Postle B., German D. M. Pannini: a new projection for rendering wide angle perspective images. / Sharpless T. K., Postle B., German D. M. // In Proceedings of the Sixth international conference on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging. – 2010.

pp.9–16. **5.** *Chang C., Hu M., Cheng W., Chuang Y.* Rectangling Stereographic Projection for Wide-Angle Image Visualization. / *Chang C., Hu M., Cheng W., Chuang Y.* // In Proceedings of ICCV. – 2013. pp. 2824–2831. **6.** *Brosz J., Carpendale S., Samavati F., Wang H., Dunning A.* Art and Nonlinear Projection. / *Brosz J., Carpendale S., Samavati F., Wang H., Dunning A.* // In *Bridges 2009: Mathematical Connections in Art, Music and Science*. – 2009. **7.** *Carroll R., Agrawala M., Agarwala A.* Optimizing content-preserving projections for wide-angle images. / *Carroll R., Agrawala M., Agarwala A.* // ACM Trans. Graph. 28(3). – 2009. **8.** *Zorin D., Barr A. H.* Correction of geometric perceptual distortions in pictures. / *Zorin D., Barr A. H.* // In SIGGRAPH '95, pp. 257- 264. **9.** *Kubovy M.* The Psychology of Perspective and Renaissance Art. / *Kubovy M.* – Cambridge University Press, 1986. **10.** *Раушенбах Б.В.* Пространственные построения в живописи. Очерк основных методов. Приложения 1-9. / *Раушенбах Б.В.* – М.: Наука, 1980. – 289с. **11.** *Ковалёв А.М.* О системах перспектив для компьютерной графики. / *А.М. Ковалёв, В.Е. Лищенко, М.В. Степанов* // Автометрия. – 2007. – Т.43, № 3. **12.** *Ковалев А.М.* Оценка искажений предметов при отображении перцептивного пространства на картинную плоскость. / *А. М. Ковалев* // Автометрия. – 2004. – Т. 40, № 6.- С.87–100. **13.** *Ковалев А.М.* Об одном способе изображения предметов и группе линейных перспектив. / *А. М. Ковалев* // Автометрия. – 2009. – Т.45, № 2. – С. 36-44.

Bibliography (transliterated): **1.** *Raushenbach B. V.* (1986). The system of perspective in visual arts. General theory of perspective. Science, Moscow. **2.** *Zenkin G. M, Petrov A. P.* (1979). On the mechanisms of visual perception constancy of space. Sensing Systems. Science, Leningrad. **3.** *Kovalev A. M.* (2002). On increase of objects in the perceptual space. Avtometriya, V. 38, №5. **4.** *Sharpless T. K., Postle B., German D. M.* (2010). Pannini: a new projection for rendering wide angle perspective images. In Proceedings of the Sixth international conference on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging, 9–16. **5.** *Chang C., Hu M., Cheng W., Chuang Y.* (2013). Rectangling Stereographic Projection for Wide-Angle Image Visualization. In Proceedings of ICCV, 2824–2831. **6.** *Brosz J., Carpendale S., Samavati F., Wang H., Dunning A.* 2009. Art and Nonlinear Projection. In *Bridges 2009: Mathematical Connections in Art, Music and Science*. **7.** *Carroll R., Agrawala M., Agarwala A.* (2009). Optimizing content-preserving projections for wide-angle images. ACM Trans. Graph. 28(3). **8.** *Zorin D., Barr A. H.* (1995). Correction of geometric perceptual distortions in pictures. In SIGGRAPH '95, 257- 264. **9.** *Kubovy M.* (1986). The Psychology of Perspective and Renaissance Art. Cambridge University Press. **10.** *Rauschenbach B. V.* (1980). Spatial construction of a painting. Sketch of the basic methods. Annexes 1-9. Science, Moscow. **11.** *Kovalev A. M.* (2007). On systems of perspectives for computer graphics. Avtometriya, vol. 43, № 3. **12.** *Kovalev A. M.* (2004). Evaluation of distortion in displaying objects of perceptual space on the picture plane. Avtometriya, V. 40, № 6, 87-100. **13.** *Kovalev A. M.* (2009). On a method of visualize objects and the group of linear perspective. Avtometriya, V. 45, № 2, 36-44.

Надійшла (received) 07.10.2014

УДК 621.3.078

Н. Я. ОСТРОВЕРХОВ, д-р техн. наук, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт";

Н. П. БУРИК, аспирант, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ВЕКТОРНО-УПРАВЛЯЕМЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Представлена электромеханическая система, которая обеспечивает слабую чувствительность к изменению параметров векторно-управляемого асинхронного электропривода, а также

© Н. Я. ОСТРОВЕРХОВ, Н. П. БУРИК 2014