

Ковтун А. М.

# ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА БИСПЛАЙНА ЧЕТВЕРТОЙ СТЕПЕНИ НА ОСНОВЕ ПОЛИНОМА ЧЕТВЕРТОЙ СТЕПЕНИ

*Разработан способ построения векторно-параметрического сплайна четвертой степени (использовался сегмент из трех точек и двух первых производных в конечных точках). Получен векторно-параметрический сегмент на основе предложенного полинома. Показана способность такого сплайна образовывать бисплайн (векторно-параметрическую поверхность) четвертой степени. Рассчитаны порции поверхности. Приведен тестовый пример векторно-параметрического сегмента и порции поверхности.*

**Ключевые слова:** сегмент из трех точек и двух первых производных, векторно-параметрический сплайн четвертой степени.

## 1. Введение

Математическая модель кривой линии строится в зависимости ее радиус-вектора  $r(t)$  от параметра  $t$ , причем нужно знать и область изменения параметра. В зависимости от алгоритма, используемого при описании кривой, меняется и набор данных, и способ вычисления радиус-вектора.

В работах [1–5] показаны алгоритмы, по которым можно строить соответствующие бисплайны (векторно-параметрические поверхности). Причем используются сплайны третьей, четвертой и пятой степеней при выполнении условия соблюдения гладкости первого, второго, третьего и четвертого порядков. Так же затронута область проектирования сплайнов четвертой степени. Сплайн четвертой степени обладает «специфическими» свойствами, однако опыт последних исследований говорит о том, что исследование новых, или признанных «несостоятельными», методов часто ведет к далеко идущим последствиям. Часть из них имеет чисто математическую направленность и непосредственно не связана с запросами пользователей САПР. Часто уровень программного обеспечения (ПО) отстает от «мощности железа» (пример, «закон Мура» об «удвоении» вычислительных мощностей каждые 24 месяца). Поэтому развитие новых, более гибких и эффективных алгоритмов чрезвычайно востребовано современной наукой и производством.

## 2. Объект исследования и его технологический аудит

*Объект исследования* — математический аппарат для описания гладких сплайновых поверхностей на основе векторно-параметрических бисплайнов. Одним из наиболее проблемных мест в данном аппарате является несовершенство алгоритмов, применяемых для конструирования гладких обводов — склонность существующих сплайнов к осцилляциям (волнообразованию). Причиной этого является недостаточное количество работ

и исследований (в особенности по сплайнам четвертой степени), позволяющих улучшить положение.

Для выявления особенностей разработки сплайн-функций четвертой степени проводился технологический аудит, имеющий целью определить способность полиномов четвертой степени давать векторно-параметрический бисплайн четвертой степени и возможность построения бикубических поверхностей на его основе. Существенную помощь разработчику может оказать возможность дозадания дополнительных условий (для корректировки формы сплайна к конкретным задачам). Исследование имеет уклон в сторону практического применения специальных сплайн-функций и в большей степени связан с запросами пользователей САПР, предлагая дополнительные возможности конструктору.

## 3. Цель и задачи исследования

*Цель исследования* — установить способность сплайнов из полинома четвертой степени формировать бисплайн соответствующей степени.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи:

1. Получить векторно-параметрический сплайн четвертой степени на основе сегмента из трех точек и двух первых производных.
2. Записать векторно-параметрический сплайн четвертой степени на основе сегмента из трех точек и двух первых производных.
3. На основе векторно-параметрического сплайна четвертой степени получить векторно-параметрический бисплайн (векторно-параметрическую поверхность).
4. Рассчитать тестовый пример бикубического сплайна четвертой степени.

## 4. Анализ литературных данных

В ресурсах мировой периодики выявлены следующие направления, применяемые для аналитического представления гладких поверхностей, также использована

«классическая» литература по аналитической геометрии. Могут быть выделены такие подходы к решению проблемы [1, 2, 4–7]:

- аналитические поверхности;
- поверхности Кунса;
- поверхности Безье;
- сплайновые поверхности;
- поверхности Эрмита;
- поверхности Гордона;
- поверхности перехода;
- рациональные поверхности;
- NURBS поверхности.

Каждый из этого далеко не полного списка приведенных методов обладает своими недостатками и преимуществами, не изобретено универсального, «волшебного» метода. Обычно приходится «платить» за каждое из преимуществ, выбирая из существующих алгоритмов наиболее подходящий инструментарий. Особенно ценится гибкость, «настраиваемость» метода, если он, к тому же, дает снижение осцилляций, то такой метод заслуживает более подробного рассмотрения.

Сплайны на основе полиномов четвертой степени почти совсем не изучаются, поскольку полином четвертой степени «несимметричный». Для него нельзя задать одинаковое количество краевых условий с обоих концов, как для полиномов третьей и пятой степени, но возможно доздать одно срединное условие: точку, производную или вторую производную [5, 8–16]. Это дает дополнительные возможности применения сплайна в интерполяции и аппроксимации. Поэтому есть смысл изучить возможности сплайнов на основе полиномов четвертой степени.

## 5. Материалы и методы исследования

Векторно-параметрические кривые задаются в виде  $r = r(u)$ , что означает: по каждой координате существуют отдельные кривые, а именно:  $x = x(u)$ ,  $y = y(u)$ ,  $z = z(u)$ .

При задании точечного ряда в каждой точке назначаются произвольным образом конкретные значения параметра  $u$ . Наиболее простым способом является назначение значений  $u$ , которые равняются порядковому номеру точки, то есть  $u_i = i$ ,  $i = 0, 1, \dots, N$ . При этом уравнения сплайнов значительно упрощаются, т. к. точки по параметру  $u$  размещаются равномерно (это не означает, что они равномерно размещаются в пространстве) и, кроме того, дистанция между точками по параметру  $u$  равняется единице, то есть  $u_{i+1} - u_i = (i+1) - i = 1$ . Но более адекватным является назначение параметра  $u$ , который равняется реальной дистанции в пространстве, то есть:

$$u_{i+1} - u_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2}.$$

В этом случае необходимо решать системы уравнений для сплайнов с учетом неравномерности расположения точек.

## 6. Результаты исследования

Бисплайн — это векторно-параметрическая поверхность на базе сплайнов различной степени, которая получается при перемещении векторно-параметрического сплайна в трехмерном пространстве в направлении

отличном от направления  $u$ . Напомним, что она, (поверхность), имеет вид  $r = r(u)$ . Другими словами — протягиваем  $r = r(u)$  в направлении  $v$  (параметр). Данный алгоритм имеет сходство с алгоритмом кубического бисплайна.

**6.1. Векторно-параметрический сплайн четвертой степени на основе сегмента из трех точек и двух первых производных.** Для конструирования бисплайна предлагается рассмотреть вариант 1 полинома четвертой степени [5]:

Заданы конечные точки, производные в них и еще одна срединная точка.

Будем искать функцию в виде полинома:

$$y = \alpha_0(u)y_0 + \alpha_1(u)y_1 + \alpha_2(u)y_2 + [\beta_0(u)y'_0 + \beta_1(u)y'_2]h, \quad (1)$$

где  $h = x_2 - x_0$ ,  $u = (x - x_0)/(x_2 - x_0)$ .

В точке 0:  $u = 0$ .

В точке 2:  $u = 1$ .

В точке 1: можем назначить любое значение  $u$ . Если эта точка находится посередине между точками 0 и 2, тогда значение  $u_1$  будет 0,5 (наиболее симметричным).

Следовательно, функции  $\alpha_0(u)$ ,  $\alpha_1(u)$ ,  $\alpha_2(u)$ ,  $\beta_1(u)$  и  $\beta_2(u)$  являются полиномами вида:

$$\alpha_i(u) = a_i + b_i u + c_i u^2 + d_i u^3 + e_i u^4. \quad (2)$$

Для  $u = 0$ :

$$\alpha_0(u) = 1, \alpha_1(u) = 0, \alpha_2(u) = 0, \beta_0(u) = 0, \beta_1(u) = 0;$$

$$\alpha'_0(u) = 0, \alpha'_1(u) = 0, \alpha'_2(u) = 0, \beta'_0(u) = 1, \beta'_1(u) = 0.$$

Для  $u = u_1$ :

$$\alpha_0(u) = 0, \alpha_1(u) = 1, \alpha_2(u) = 0, \beta_0(u) = 0, \beta_1(u) = 0.$$

Для  $u = 1$ :

$$\alpha_0(u) = 0, \alpha_1(u) = 0, \alpha_2(u) = 1, \beta_0(u) = 0, \beta_1(u) = 0;$$

$$\alpha'_0(u) = 0, \alpha'_1(u) = 0, \alpha'_2(u) = 0, \beta'_0(u) = 0, \beta'_1(u) = 1.$$

Применим эти условия для определения  $\alpha_0(u)$ .

Имеем следующие пять линейных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_0(0) &= a = 1, \\ \alpha'_0(0) &= b = 0, \\ \alpha_0(u_1) &= 1 + c u_1^2 + d u_1^3 + e u_1^4, \\ \alpha_0(1) &= 1 + c + d + e = 0, \\ \alpha'_0(1) &= 2c + 3d + 4e = 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Решив систему (3), получим:

$$\alpha_0(u) = 1 + (e-3)u^2 + (2-2e)u^3 + e u^4, \quad (4)$$

где:

$$e = \frac{3u_1^2 - 2u_1^3 - 1}{u_1^2 - 2u_1^3 + u_1^4}.$$

Если  $u_1 = 0,5$ , то получим:

$$\alpha_0(u) = 1 - 11u^2 + 18u^3 - 8u^4.$$

Аналогично определив  $\alpha_1(u)$ ,  $\alpha_2(u)$ ,  $\beta_0(u)$ ,  $\beta_1(u)$ .

На основе формулы (1) можно записать векторно-параметрический сплайн четвертой степени на основе сегмента из трех точек и двух первых производных в виде:

$$r = \alpha_0(u)r_0 + \alpha_1(u)r_1 + \alpha_2(u)r_2 + \beta_0(u)r'_0 + \beta_1(u)r'_1, \quad (5)$$

где:

$$\begin{aligned} \alpha_0(u) &= 1 - 11u^2 + 18u^3 - 8u^4, \\ \alpha_1(u) &= 16u^2 - 32u^3 + 16u^4, \\ \alpha_2(u) &= -5u^2 + 14u^3 - 8u^4, \\ \beta_0(u) &= u - 4u^2 + 5u^3 - 2u^4, \\ \beta_1(u) &= u^2 - 3u^3 + 2u^4. \end{aligned}$$

**6.2. Построение бисплайна четвертой степени.** На основе сегмента четвертой степени (5) для порций поверхности можно записать такое уравнение:

$$r = \begin{bmatrix} \alpha_0(u) & \alpha_1(u) & \alpha_2(u) & \beta_0(u) & \beta_1(u) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & r_{00}^v & r_{01}^v \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & r_{10}^v & r_{11}^v \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & r_{20}^v & r_{21}^v \\ r_{00}^u & r_{01}^u & r_{02}^u & r_{00}^{uv} & r_{01}^{uv} \\ r_{10}^u & r_{11}^u & r_{12}^u & r_{10}^{uv} & r_{11}^{uv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_0(v) \\ \alpha_1(v) \\ \alpha_2(v) \\ \beta_0(v) \\ \beta_1(v) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где  $\alpha_i(u)$  рассчитывается аналогично (5).

Для задания такой порции нужно иметь не только первые производные, но и смешанные производные в узловых точках.

Пусть имеем две порции:  $(i - 1)$ -порция и  $i$ -я порция. Направление « $i$ » совпадает с направлением параметра  $u$ . Для сохранения первого порядка гладкости по  $u$  вдоль границы по параметру  $v$  необходимо придерживаться требования:

$$r'_{u(u-1)}^{(i-1)}(u, v) = r'_{u(u=0)}^{(i)}(u, v).$$

Тестовые примеры порций поверхности четвертой степени поданы на рис. 1.

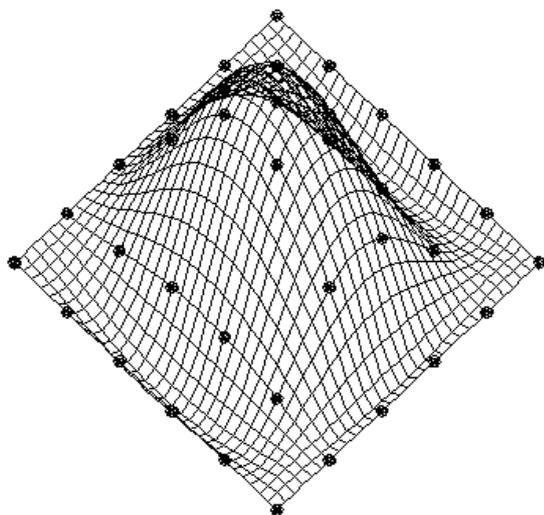


Рис. 1. Порции поверхности четвертой степени

Тестовая программа визуализации (рис. 1) написана на основании полученных в работе формул на языке Auto Lisp в среде AutoCAD. На рис. 1 видны порции поверхности четвертой степени.

Для повышения эффективности предложенного алгоритма применена корректировка формы кривой с помощью дополнительных условий — одной срединной точки (рис. 2).

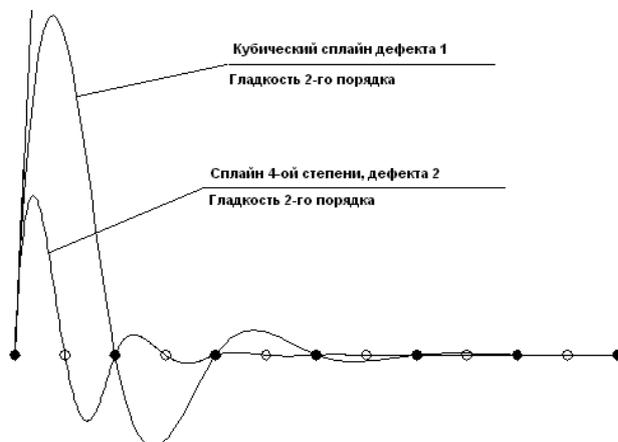


Рис. 2. Сравнение кубического сплайна и сплайна 4-й степени со вторым порядком гладкости

На рис. 2 представлено сравнение кубического сплайна и сплайна 4-й степени со вторым порядком гладкости [5]. Заметны такие свойства сплайна 4-й степени как образование вдвое меньших по величине волн и вдвое более быстрого их угасания.

### 7. SWOT-анализ результатов исследований

**Strengths.** К сильным сторонам приведенного исследования можно отнести исследование нового алгоритма описания векторно-параметрических поверхностей, полезные свойства которых можно применять при построении гладких поверхностей с управляющими точками, инцидентными поверхности. Анализируя векторно-параметрический сплайн четвертой степени на основе сегмента из трех точек и двух первых производных, легко заметить, что для него нельзя задать одинаковое количество краевых условий с обоих концов, как для полиномов третьей и пятой степени, поскольку полином четвертой степени «несимметричный». Но возможно доздать одно срединное условие: точку, производную или вторую производную. Это дает дополнительные возможности применения сплайна в интерполяции и аппроксимации. Поэтому есть смысл изучить возможности сплайнов на основе полиномов четвертой степени.

**Weaknesses.** Слабые стороны данного исследования обусловлены малым количеством завершенных готовых моделей, выполненных с применением метода, что объясняется его новизной.

**Opportunities.** К дополнительным возможностям, обеспечивающим достижение цели исследования, могут быть отнесены и вероятные внешние факторы:

- все более повышающийся спрос на специализированное ПО;
- разработка обводов объектов и аппаратов, работающих в движущихся средах, требует все более совершенных подходов и алгоритмов;

— пакеты САПР востребованы как в Украине, так и за ее пределами.

**Threats.** Сложности во внедрении полученных результатов исследования связаны с нынешней политико-экономической ситуацией. Данная работа является продолжением диссертационной работы автора [17], которая была применена в производстве ряда предприятий Украины.

Таким образом, SWOT-анализ результатов исследований позволяет обозначить основные направления для успешного достижения цели исследования дальнейшая разработка более совершенных алгоритмов и ПО, продвижение их на вновь открывающиеся внешние и внутренние рынки IT.

## 8. Выводы

1. Получен векторно-параметрический сплайн на основе рассмотренного полинома четвертой степени, который показан в виде:

$$r = \alpha_0(u)r_0 + \alpha_1(u)r_1 + \alpha_2(u)r_2 + \beta_0(u)r'_0 + \beta_1(u)r'_1,$$

где:

$$\alpha_0(u) = 1 - 11u^2 + 18u^3 - 8u^4,$$

$$\alpha_1(u) = 16u^2 - 32u^3 + 16u^4,$$

$$\alpha_2(u) = -5u^2 + 14u^3 - 8u^4,$$

$$\beta_0(u) = u - 4u^2 + 5u^3 - 2u^4,$$

$$\beta_1(u) = u^2 - 3u^3 + 2u^4.$$

2. Для изучаемых сплайнов найдены сегменты из трех точек и двух первых производных:

$$y = \alpha_0(u)y_0 + \alpha_1(u)y_1 + \alpha_2(u)y_2 + [\beta_0(u)y'_0 + \beta_1(u)y'_2]h,$$

где  $h = x_2 - x_0$ ,  $u = (x - x_0)/(x_2 - x_0)$ , функции  $\alpha_0(u)$ ,  $\alpha_1(u)$ ,  $\alpha_2(u)$ ,  $\beta_1(u)$  и  $\beta_2(u)$  являются полиномами вида:

$$\alpha_i(u) = a_i + b_iu + c_iu^2 + d_iu^3 + e_iu^4.$$

3. Показана возможность получения векторно-параметрической порции поверхности четвертой степени. На основе сегмента четвертой степени для порций поверхности можно записать такое уравнение:

$$r = \begin{bmatrix} \alpha_0(u) & \alpha_1(u) & \alpha_2(u) & \beta_0(u) & \beta_1(u) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & r_{00}^v & r_{01}^v \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & r_{10}^v & r_{11}^v \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & r_{20}^v & r_{21}^v \\ r_{00}^u & r_{01}^u & r_{02}^u & r_{00}^{uv} & r_{01}^{uv} \\ r_{10}^u & r_{11}^u & r_{12}^u & r_{10}^{uv} & r_{11}^{uv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_0(v) \\ \alpha_1(v) \\ \alpha_2(v) \\ \beta_0(v) \\ \beta_1(v) \end{bmatrix},$$

где при расчете  $\alpha_i(u)$  необходимо придерживаться требования:

$$r'_{u(u-1)}^{(i-1)}(u, v) = r'_{u(u=0)}^{(i)}(u, v).$$

4. На основании полученных в работе формул на языке Auto Lisp в среде AutoCAD рассчитан тестовый

пример порции поверхности четвертой степени, представленный на рис. 1.

## Литература

1. Фокс, А. Вычислительная геометрия [Текст]: пер. с англ. / А. Фокс, М. Пратт. — М.: Мир, 1982. — 304 с.
2. Завьялов, Ю. С. Методы сплайн-функций [Текст] / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. — М.: Наука, 1982. — 352 с.
3. Ковтун, О. М. Поліноміальні сплайни четвертого степеня [Текст] / О. М. Ковтун // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка». — К.: КНУБА, 2004. — Вип. 74. — С. 239–243.
4. Голованов, Н. Н. Геометрическое моделирование [Текст] / Н. Н. Голованов. — М.: Издательство физико-математической литературы, 2002. — 472 с.
5. Бадаев, Ю. И. Специальные сплайны из полиномов третьей, четвертой и пятой степеней в геометрическом моделировании [Текст]: монография / Ю. И. Бадаев, А. М. Ковтун. — Одесса: Феникс, 2011. — 316 с.
6. Бадаев, Ю. И. Векторно-параметричні сегменти, поверхні та тіла за інцидентними з ними точками [Текст] / Ю. И. Бадаев, О. М. Ковтун // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Прикладна геометрія та інженерна графіка. — Мелітополь: ТДАТА, 2003. — Вип. 4, Т. 18. — С. 37–40.
7. Csurscia, P. Z. Identification of time-varying systems using a two-dimensional B-spline algorithm [Electronic resource] / P. Z. Csurscia, J. Schoukens, I. Kollar // 2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings. — Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2012. — Available at: \www/URL: <https://doi.org/10.1109/i2mtc.2012.6229494>
8. Роджерс, Д. Математические основы машинной графики [Текст]: пер. с англ. / Д. Роджерс, Дж. Адамс. — М.: Мир, 2001. — 604 с.
9. Якунин, В. И. Геометрические основы автоматизированного проектирования технических поверхностей [Текст] / В. И. Якунин. — М.: Маи, 1980. — 86 с.
10. Завьялов, Ю. С. Сплайны в инженерной геометрии [Текст] / Ю. С. Завьялов, В. А. Леус, В. А. Скорospelов. — М.: Машиностроение, 1985. — 224 с.
11. Watt, A. 3D Computer Graphics [Text] / A. Watt. — Ed. 3. — Addison-Wesley, 2000. — 570 p.
12. Zamani, M. A simple 2D interpolation model for analysis of nonlinear data [Text] / M. Zamani // Natural Science. — 2010. — Vol. 2, № 6. — P. 641–645. doi:10.4236/ns.2010.26080
13. Chen, L. A Comparison of Improvements for Shear Warp Algorithm Using Lagrange or Cubic Spline Interpolation [Electronic resource] / L. Chen, S. Hu // 2011 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. — Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2011. — Available at: \www/URL: <https://doi.org/10.1109/icbbe.2011.5780354>
14. Herman, G. T. Shape-based Interpolation Using Modified Cubic Splines [Electronic resource] / G. T. Herman, C. A. Bucholtz, Jingsheng Zheng // Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. — Vol. 13, № 1. — Available at: \www/URL: <https://doi.org/10.1109/iembs.1991.683941>
15. Бадаев, Ю. И. Апроксимация сплайнами на основі кривих з інцидентними точками [Текст]: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції; праці Національного університету «Львівська політехніка» (специвпуск) / Ю. И. Бадаев, О. М. Ковтун // Сучасні проблеми геометричного моделювання. — Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2003. — С. 75–77.
16. Moreno, J. Analysis of NURBS dielectric volumes by using the Method of Moments [Electronic resource] / J. Moreno, I. Gonzalez, M. J. Algar, F. Catedra // The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014). — Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2014. — Available at: \www/URL: <https://doi.org/10.1109/eucap.2014.6902306>
17. Ковтун, О. М. Спеціальні поліноміальні сплайни третього, четвертого і п'ятого степенів у геометричному моделюванні [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01 / О. М. Ковтун. — Київ, 2006. — 21 с.

**ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ПОБУДОВИ БІСПЛАЙНА ЧЕТВЕРТОГО СТЕПЕНЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОЛІНОМА ЧЕТВЕРТОГО СТЕПЕНЯ**

Розроблено спосіб побудови векторно-параметричного сплайна четвертого степеня (використовувався сегмент з трьох точок та двох перших похідних). Отримано векторно-параметричний сегмент на основі запропонованого полінома. Показана здатність такого сплайна утворювати бісплайн (векторно-параметричну поверхню) четвертого степеня. Розраховані порції поверхні. Приведено тестовий приклад векторно-параметричного сегмента та порції поверхні.

**Ключові слова:** сегмент з трьох точок та двох перших похідних, векторно-параметричний сплайн четвертого степеня.

*Ковтун Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інженерних дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», Ізмаїл, Одеська обл., Україна, e-mail: ikra55@list.ru.*

*Ковтун Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інженерних дисциплін, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», Ізмаїл, Одеська обл., Україна.*

*Kovtun Alexander, Danube Institute of National University «Odessa Maritime Academy», Izmail, Odessa Region, Ukraine, e-mail: ikra55@list.ru*

УДК 519.6

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.80561

Ерохін А. Л.,  
Зацеркляний Г. А.

## РОЗРОБКА ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТЕПЛОТРАТ У БУДІВЛІ НЕВИРОБНИЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Запропонована методика побудови розрахункової структури будь-якої конструктивно-функціональної схеми будівлі невиробничого призначення. Ця структура дозволяє розглядати з єдиних позицій будь-який взаємопов'язаний і взаємообумовлений тепловий процес. Показано, як в рамках об'єктно-орієнтованої методології Object Modeling Techniques побудувати функціональну і об'єктну моделі для аналізу тепловтрат у будівлі. Приведений приклад демонструє застосування одержаних результатів.*

**Ключові слова:** розрахункова структура будинку невиробничого призначення, об'єктно-орієнтована модель, тепловтрати, теплоакumuлююча підлогова система електричного опалення.

### 1. Вступ

Житлово-громадський сектор економіки України відноситься до числа найбільших споживачів енергії. Основна частина енергії в будівлях споживається системами опалення, а також, при їх наявності, системами вентиляції і кондиціонування повітря. Сьогодні житлово-комунальна сфера України споживає до 50 % газу для обігріву будівель, виробництва гарячої води та приготування їжі. Важливим є те, що ефективність використання енергоресурсів в житловому фонді України в 3–5 разів нижча, ніж у країнах ЄС з подібними кліматичними умовами.

Витрати енергії на опалення значною мірою залежать від теплового захисту будівель. Україна значно поступається провідним країнам світу в теплоспоживанні будівель на 1 м<sup>2</sup> опалювальної площі. А це свідчить про великий потенціал енергозбереження в сфері теплопостачання, а отже низькому рівні енергоощадності будівель. Діапазон потенціалу енергозбереження в сучасних будівлях за деякими оцінками фахівців коливається від 10 до 50 %.

Питання енергозбереження актуальне не тільки для України. Тому на збільшення ефективності використання енергії в країнах ЄС спрямована директива Європейського парламенту та Ради 2010/31/ЄС від 19 травня 2010 року щодо енергетичної ефективності будівель. Дотримання вимог цієї директиви допоможе заощадити

до 1/5 споживаних енергоресурсів у країнах Європейського Союзу.

Завдання забезпечення в приміщеннях будівлі певного теплового режиму є організацією взаємодіючих та взаємопов'язаних теплових потоків у складній архітектурно-конструктивній системі з різноманітним складовим її елементами. Принциповою особливістю цієї системи є та обставина, що будівля як єдина енергетична система є не простою сумою цих елементів, а особливим їх з'єднанням, що надає всій системі нові якості, відсутні у кожного з елементів.

Таким чином, тепловий режим будівлі є складною системою. Для його аналізу, а тим паче для оптимізації, не обійтися без математичного моделювання з використанням інформаційних технологій.

Математичне моделювання (тобто проведення обчислювального експерименту) теплового режиму будівлі доцільно організувати в рамках пакету прикладних програм.

При розробці інформаційних систем та пакетів прикладних програм розробники намагаються задовольнити вимоги замовників за рахунок програмної реалізації компонентів системи, яка забезпечує виконання сервісів, необхідних користувачу. Такий підхід дозволяє значно розширити функціональність програмного продукту і знизити затрати як на його розробку, так і на виконання, а в разі необхідності, і на його модернізацію.