

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Чесноков, С. В. Детерминационный анализ социально-экономических данных / С. В. Чесноков. – М.: Наука, 1982. – 168 с.
2. Тітова, О. В. Методи побудови та оцінки агрегованих асоціативних правил в інтелектуальних базах даних. Харків – 2006.
3. Головний сайт департаменту патології, UT Southwestern Medical Center [Електронний ресурс] – режим доступу <http://pathcuric1.swmed.edu/pathdb/classifi.html>
4. Опис утиліти BiNGO, сайт університету Гент, [Електронний ресурс] – режим <http://www.psb.ugent.be/cbd/papers/BiNGO/Home.html>.
5. Офіційний сайт National Institute of Allergy and Infectious Diseases (NIAID), NIH [Електронний ресурс] – режим доступу <http://david.abcc.ncifcrf.gov/content.jsp?file=/ease/ease1.htm&type=1>
6. Thun S. Laplacian smoothing / Norwig P., Thun S. Online lecture «Machine Learning», USA, Stanford University – 2011. <https://www.ai-class.com/course/video/quizquestion/97>.
7. Heaps: Heapsort, Binary Heap, Smoothsort, Soft Heap, Fibonacci Heap, Treap, Binomial Heap, Pairing Heap, Leftist Tree, Skew Heap. Memphis, Tennessee, Llc Books, General Books LLC – 2010, 74 p.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2012.

Пшеничный А. Ю.

**СВОЙСТВА АССОЦИАТИВНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ В АНАЛИЗЕ ДАННЫХ**

В данной работе поданы результаты исследований свойств ассоциативных зависимостей и возможностей их эффективно агрегирования. Разработан метод поиска ассоциативных зависимостей широкого класса в больших наборах данных.

**Ключевые слова:** ассоциативная зависимость, функциональная зависимость, зависимости данных, анализ данных.

Pshenychnyi O. Y.

**ASSOCIATIVE DEPENDENCIES PROPERTIES IN DATA ANALYSIS**

This paper describes the results of research in the field of associative dependencies properties and effective aggregation

УДК 519.6

Чопоров С. В.<sup>1</sup>, Гоменюк С. И.<sup>2</sup>, Лисняк А. А.<sup>3</sup>, Панасенко Е. В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Канд. техн. наук, старший преподаватель Запорожского национального университета

<sup>2</sup>Д-р техн. наук, старший преподаватель профессор Запорожского национального университета

<sup>3, 4</sup> Канд. физ.-мат. наук, старший преподаватель Запорожского национального университета

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ КРЕПЕЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА БАЗЕ ТЕОРИИ R-ФУНКЦИЙ

В статье рассмотрена проблема математического моделирования сложных геометрических объектов на базе теории R-функций. Предложены новые математические модели наиболее распространенных гаечных и болтовых соединений.

**Ключевые слова:** математическая модель, R-функция, гайка, болт.

**ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Одним из наиболее динамично развивающихся направлений современной науки и техники является компьютерное моделирование сложных технических объек-

possibilities. Also it briefly describes the developed method of special class of associative dependencies detection in large data volumes. The main idea of this research is aggregation of elementary associative dependencies into more complicated once. This approach gives good performance results and allows processing data volumes with millions records. Current paper shows how it is possible to define algebra of associative dependencies with few main operations and rules of inference, taking place in such algebra. The rule set completeness is also proven here to be sure that no rules are lost during inference. The outcome of described theory is highly effective data analysis method, capable to detect wide range of associative dependencies in relational data.

**Key words:** associative dependency, functional dependency, data dependency, data analysis.

**REFERENCES**

1. Chesnokov S.V. Determinatsyonnyi analiz sotsyalno-ekonomicheskikh dannyh. Moskva, Nauka, 1982, 168 p.
2. Titova O.V. Metody pobudovy ta otsinky ahrehovanykh asotsiatyvnykh pravyl v intelektualnykh bazah danykh. Kharkiv, 2006.
3. The main site of the Department of Pathology, UT Southwestern Medical Center. <http://pathcuric1.swmed.edu/pathdb/classifi.html>
4. BiNGO utility description, Ghent university site, <http://www.psb.ugent.be/cbd/papers/BiNGO/Home.html>.
5. Site of National Institute of Allergy and Infectious Diseases (NIAID), NIH, <http://david.abcc.ncifcrf.gov/content.jsp?file=/ease/ease1.htm&type=1>.
6. Thun S. Laplacian smoothing / Norwig P., Thun S. Online lecture «Machine Learning», USA, Stanford University – 2011. <https://www.ai-class.com/course/video/quizquestion/97>.
7. Heaps: Heapsort, Binary Heap, Smoothsort, Soft Heap, Fibonacci Heap, Treap, Binomial Heap, Pairing Heap, Leftist Tree, Skew Heap. Memphis, Tennessee, Llc Books, General Books LLC, 2010, 74 p.

тов и процессов, позволяющее заменить дорогостоящее и продолжительное исследование испытательного образца вычислительным экспериментом. При этом для практического применения многих вычислительных методов, как правило, необходимо построение математических

моделей геометрических объектов (например, элементов конструкций, сооружений механизмов).

В инженерной практике активно используются различные крепежные соединения, например, гайки, болты, шайбы. Построение математических моделей таких геометрических объектов позволит их рассматривать в качестве самостоятельных единиц механических систем с собственным набором геометрических и механических свойств и, как следствие, повысить точность моделей таких механических систем в целом.

Таким образом, построение математических моделей, рассматривающих распространенные крепежные элементы в качестве самостоятельных геометрических объектов, является актуальной научно-технической задачей.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Среди наиболее распространенных на практике подходов и методов математического моделирования геометрических объектов и тел можно выделить следующее: инженерные чертежи, граничное представление и конструктивную блочную геометрию.

Одним из исторически первых подходов к моделированию геометрической структуры сложных тел являются инженерные чертежи – набор плоских проекций проектируемой детали. Данный подход получил широкое распространение в технике как средство коммуникации между инженерами. Он поддерживается большинством современных САПР, например, «AutoCAD» и «Компас». Однако следует отметить, что в общем случае для произвольного трехмерного объекта трудно определить необходимое количество плоских проекций для полного и адекватного описания его геометрии.

Граничное представление основано на предположении, что любое сплошное тело  $X$  обладает определенной границей  $\partial X$ , которая в евклидовом пространстве однозначно определяет его [1]. Возможность представлять тело совокупностью ограничивающих его объем оболочек, а также универсальность используемых структур делают такой подход одним из наиболее применимых в компьютерной графике [2, 3]. Граничное представление лежит в основе ядра геометрического моделирования Parasolid и системы Romulus. Однако необходимо отметить, что получение системы оболочек, описывающих сложное тело, является весьма трудоемкой задачей.

Конструктивная блочная геометрия (Constructive Solid Geometry, CSG) – подход, используемый для математического моделирования геометрической структуры сложных тел, позволяющий создать математическую модель сложного объекта с помощью булевых и геометрических операций комбинирования некоторого множества более простых объектов – примитивов (например, сфера, тор, конус, пирамида, куб, призма). Преимуществом такого подхода является простота и наглядность процесса моделирования. Однако, основным недостатком является относительная сложность получения границы, адекватно отражающей моделируемый объект. Также ограниченность набора базовых примитивов де-

лает затруднительным моделирование конструкции с нестандартной геометрической структурой.

Альтернативным подходом к решению задач математического моделирования геометрических объектов является функциональное представление – подход, который основан на идее моделирования геометрической структуры тела с помощью математических функций или соотношений. Наиболее часто в рамках такого подхода используются неявные функции, простейшей формой которых является ограничение на знак некоторой действительной функции  $f(p)$ . Например, если  $f = Ax + By + Cz + D$ , тогда  $f(p) = 0$ ,  $f(p) \geq 0$  и  $f(p) < 0$  определяют плоскость, закрытое полупространство и открытое полупространство соответственно. Круг радиуса  $r$  на плоскости или бесконечный цилиндр в пространстве может быть определен формулой  $r^2 - x^2 - y^2 \geq 0$ .

Развитием функционального подхода является построение более сложных функций конструктивно, используя логические комбинации более простых функций, которые эквивалентны стандартным операциям над множествами. Такие функции, принадлежащие классу  $C^m$ , разработаны в работах В. Л. Рвачева [4–8], на базе которых сформирован наиболее универсальный и общий подход, названный теорией R-функций.

В рамках теории R-функций сформирован ряд систем функций, логически соответствующих булевым операциям над неявными действительными функциями, моделирующими части объекта. Наиболее распространенная система R-функций имеет вид

$$\begin{cases} \neg x \equiv -x, \\ x \wedge y \equiv x + y - \sqrt{x^2 + y^2}, \\ x \vee y \equiv x + y + \sqrt{x^2 + y^2}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\neg$  – R-отрицание,  $\wedge$  – R-конъюнкция,  $\vee$  – R-дизъюнкция.

Например, при помощи формулы

$$F_1(x, y, z, R, r) = (F_{ball}(x, y, z, R, 0, 0, 0) \wedge \neg F_{ball}(x, y, z, r, -R, 0, 0) \wedge \neg F_{ball}(x, y, z, r, R, 0, 0) \wedge \neg F_{ball}(x, y, z, r, 0, -R, 0) \wedge \neg F_{ball}(x, y, z, r, 0, R, 0)) \wedge \neg F_{ball}(x, y, z, r, 0, 0, -R) \wedge \neg F_{ball}(x, y, z, r, 0, 0, R). \quad (2)$$

можно представить тело в виде объединения шара радиуса  $R$ , центр которого в начале координат, с пятью полукруглыми отверстиями радиуса  $r$ , центры которых симметрично расположены на границе первого шара (рис. 1). При этом функция  $F_{ball}$  соответствует модели шара радиуса  $r$  с центром в точке  $(x_0, y_0, z_0)$ :

$$F_{ball}(x, y, z, r, x_0, y_0, z_0) = r^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2 - (z - z_0)^2. \quad (3)$$

### АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

В процессе построения функциональных моделей геометрических объектов можно выделить несколько основных этапов:

1. Декомпозиция – умозрительный анализ геометрической структуры объекта или конструкции с целью вы-

деления наиболее простых составных частей или элементов (при этом в качестве исходных данных могут выступать чертежи или макеты проектируемых объектов).

2. Формализация – формирование системы базовых функций (как правило, элементарных функций, примитивов), соответствующих выделенным частям объекта.

3. Композиция – формирование комплексной функциональной модели путем применения последовательности R-операций, операций движения и вращения к базовым функциям.

При этом декомпозиция, как правило, производится методом «сверху в низ» с использованием пошаговой детализации моделей.

Полученные в результате выполнения описанных выше этапов модели сложных тел могут рассматриваться в качестве базовых функций для построения новых моделей, таким образом, формируя библиотеку примитивов.

При анализе геометрической структуры гайки (чертеж на рис. 2) можно увидеть, что она состоит из цилиндрического тела, в сечении которого шестиугольник, ширины  $H$ , с отверстием диаметра  $d$  и фаской под углом  $30^\circ$  на расстоянии  $dw / 2$  от центра. Следовательно, для построения функциональной модели, соответствующей гайке, необходимо разработать соответствующие функциональные представления ее логических частей.

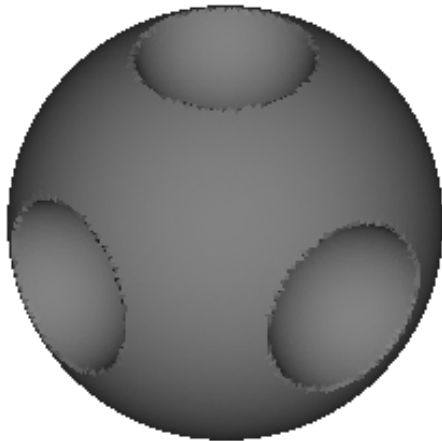


Рис. 1. Поверхность тела, представленного формулой (2):  $R = 0,7, r = 0,3$

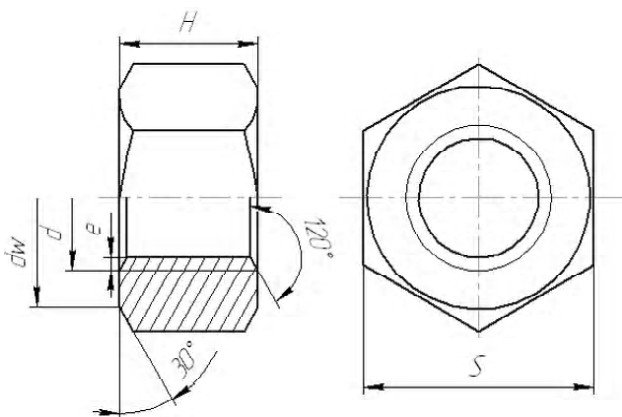


Рис. 2. Чертеж гайки

Пусть  $S$  – размер гайки «под ключ», тогда, опираясь на данные соответствующих ГОСТов, можно определить табличные значения  $d$  и  $H$ . Значение  $dw$  может принимать значения [9]

$$dw = \delta S, \quad 0,9 \leq \delta \leq 0,95.$$

Из чертежа можно увидеть, что радиус окружности, описанной вокруг образующего шестиугольника, может быть представлен при помощи формулы

$$R = \frac{S}{\sqrt{3}}.$$

**МОДЕЛИ ОСНОВНЫХ ПРИМИТИВОВ**

Правильный  $n$ -угольник, вписанный в окружность радиуса  $r$  с центром в точке  $(x_0; y_0)$ , первая вершина которого расположена на пересечении оси ординат и окружности (пример картины линий уровня на рис. 3), может быть представлен формулой

$$\xi_i = x_0 + r \sin \alpha_i, \eta_i = y_0 + r \cos \alpha_i, \alpha_i = \frac{2\pi}{n}(i-1), i = \overline{1, n},$$

$$F_{\text{regular polygon}}(x, y, r, x_0, y_0, n) = F_{HS}(x, y, \xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2) \wedge$$

$$\wedge F_{HS}(x, y, \xi_2, \eta_2, \xi_3, \eta_3) \wedge \dots \wedge$$

$$\wedge F_{HS}(x, y, \xi_{n-1}, \eta_{n-1}, \xi_n, \eta_n) \wedge F_{HS}(x, y, \xi_n, \eta_n, \xi_1, \eta_1), \quad (4)$$

где функция  $F_{HS}(x, y, x_0, y_0, x_1, y_1)$  определяет полуплоскость, заданную упорядоченной парой точек  $(x_1; y_1)$  и  $(x_2; y_2)$ , и расположенную по правую сторону при движении от первой ко второй точке:

$$F_{HS}(x, y, x_1, y_1, x_2, y_2) = (x - x_1)(y_2 - y_1) - (y - y_1)(x_2 - x_1). \quad (5)$$

Для моделирования фасок можно воспользоваться функцией, которая является результатом вращения пря-

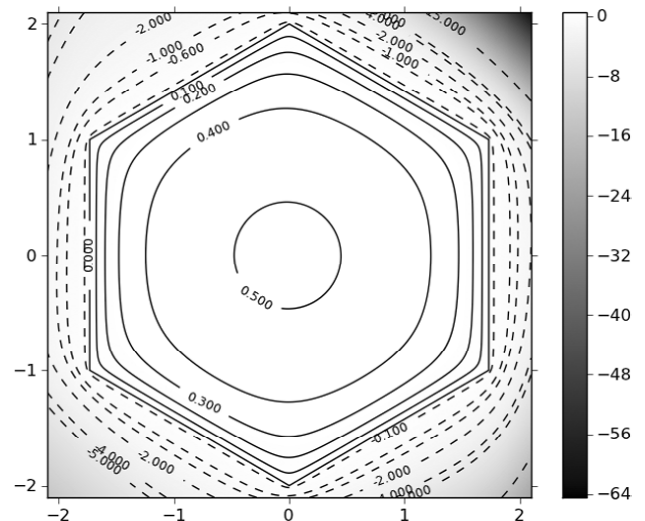


Рис. 3. Картина линий уровня функции правильного  $n$ -угольника:  $n = 6, r = 1, x_0 = 0, y_0 = 0$

моугольника с симметрично срезанными узлами вокруг горизонтальной оси. Такой прямоугольник (рис. 4) может быть представлен формулой

$$F_{BS}(x, y, w, h, d, \alpha) = \left[ \left( \frac{w}{2} \right)^2 - x^2 \right] \wedge \left[ \left( \frac{h}{2} \right)^2 - y^2 \right] \wedge F_{HS} \left( x, y, \frac{w}{2} - \frac{h-d}{2} \tan \alpha, \frac{h}{2}, \frac{w}{2}, \frac{d}{2} \right) \wedge F_{HS} \left( x, y, \frac{w}{2}, -\frac{d}{2}, \frac{w}{2} - \frac{h-d}{2} \tan \alpha, -\frac{h}{2} \right) \wedge F_{HS} \left( x, y, -\frac{w}{2}, \frac{d}{2}, -\frac{w}{2} + \frac{h-d}{2} \tan \alpha, \frac{h}{2} \right) \wedge F_{HS} \left( x, y, -\frac{w}{2} + \frac{h-d}{2} \tan \alpha, -\frac{h}{2}, -\frac{w}{2}, -\frac{d}{2} \right), \quad (6)$$

где  $w$  и  $h$  – ширина и высота базового прямоугольника;  $d/2$  – расстояние до фаски,  $0 < \alpha < \pi/2$  – угол фаски.

Частными случаями формулы (6) являются односторонние фаски. Например, правосторонняя фаска (со срезанными правыми углами) имеет вид

$$F_{BR}(x, y, w, h, d, \alpha) = \left[ \left( \frac{w}{2} \right)^2 - x^2 \right] \wedge \left[ \left( \frac{h}{2} \right)^2 - y^2 \right] \wedge F_{HS} \left( x, y, \frac{w}{2} - \frac{h-d}{2} \tan \alpha, \frac{h}{2}, \frac{w}{2}, \frac{d}{2} \right) \wedge F_{HS} \left( x, y, \frac{w}{2}, -\frac{d}{2}, \frac{w}{2} - \frac{h-d}{2} \tan \alpha, -\frac{h}{2} \right), \quad (7)$$

Трехмерная модель фаски может быть получена путем подстановки  $y \leftarrow \sqrt{y^2 + z^2}$ , определяющей вращение относительно оси ординат.

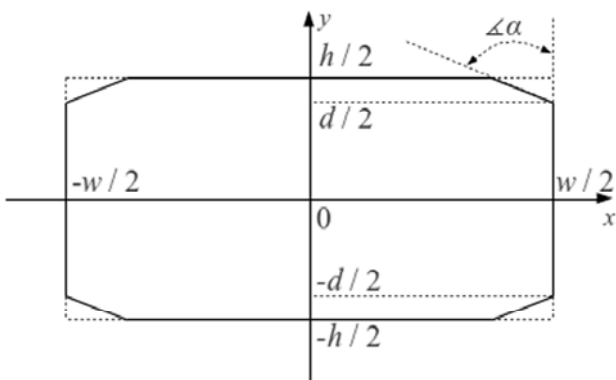


Рис. 4. Сечение фаски

**ТРЕХМЕРНЫЕ МОДЕЛИ КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Тогда трехмерная модель гайки (рис. 5), определенной чертежом 2, может быть получена на базе формул (4)–(6):

$$F_{Nut}(x, y, z, H, R, dw, d) = F_{BS} \left( x, \sqrt{y^2 + z^2}, H, 2R, dw, \frac{\pi}{6} \right) \wedge F_{regular\ polygon}(y, z, R, 0, 0, 6) \wedge \left[ y^2 + z^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right]. \quad (8)$$

Аналогичный вид примет формула, соответствующая болту (рис. 5):

$$F_{Bolt}(x, y, z, H, R, dw, d, l) = \left[ F_{BR} \left( x, \sqrt{y^2 + z^2}, H, 2R, dw, \frac{\pi}{6} \right) \wedge F_{regular\ polygon}(y, z, R, 0, 0, 6) \right] \vee \left[ \left[ \left( \frac{d}{2} \right)^2 - y^2 - z^2 \right] \wedge \left[ \left( \frac{l+h}{2} \right)^2 - \left( x + \frac{l}{2} \right)^2 \right] \right]. \quad (9)$$

где  $l$  – табличное значение длины ножки болта; параметры  $H, R, dw, d$  – аналогичны одноименным параметрам гайки.

Аналогично могут быть получены функциональные модели винтов с цилиндрической, полукруглой и потайной головками.

Винты с цилиндрической головкой (рис. 6) могут быть представлены объединением цилиндров и прямоугольным вырезом для учета прорези под отвертку:

$$F_{BCi}(x, y, z, d, D_H, H_H, b, h, l) = \left[ \left[ \left[ \left( \frac{D_H}{2} \right)^2 - y^2 - z^2 \right] \wedge \left[ \left( \frac{H_H}{2} \right)^2 - x^2 \right] \right] \vee \left[ \left[ \left( \frac{d}{2} \right)^2 - y^2 - z^2 \right] \wedge \left[ \left( \frac{l + H_H}{2} \right)^2 - \left( x + \frac{l}{2} \right)^2 \right] \right] \right] \wedge \left[ \left[ \left( \frac{b}{2} \right)^2 - y^2 \right] \wedge \left( x - \frac{H_H}{2} + h \right) \right]. \quad (10)$$

Для моделирования винта с полукруглой головкой (рис. 6) можно воспользоваться формулой

$$F_{BS}(x, y, z, d, D_H, H_H, b, h, l) = \left[ \left[ \left[ \left( \frac{D_H}{2} \right)^2 - \left( x + \frac{D_H}{2} - H_H \right)^2 - y^2 - z^2 \right] \wedge x \right] \vee \left[ \left[ \left( \frac{d}{2} \right)^2 - y^2 - z^2 \right] \wedge (x+l) \wedge (-x+0,01d) \right] \right] \wedge \left[ \left( \frac{b}{2} \right)^2 - y^2 \right] \wedge (x - H_H + h). \quad (11)$$

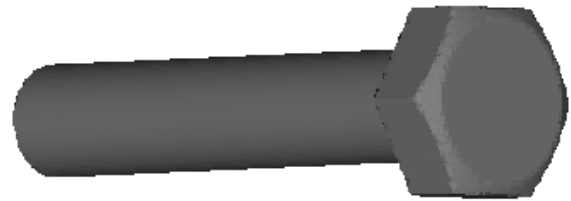
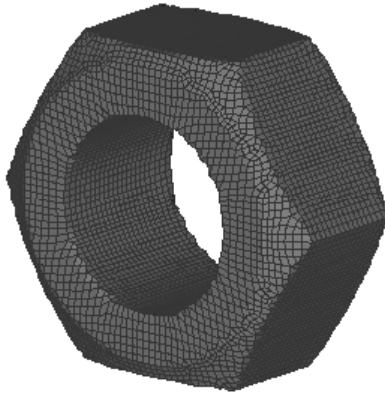


Рис. 5. Примеры визуализации моделей гайки и болта

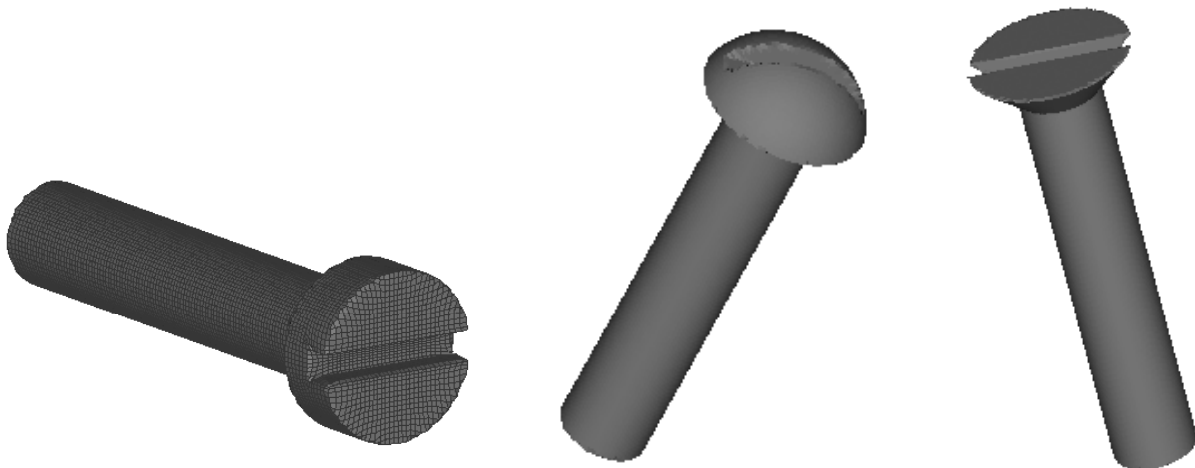


Рис. 6. Примеры визуализации моделей винтов

Аналогично может быть получена модель винта с потайной головкой (рис. 6), как объединение конусообразного элемента с цилиндрической ножкой:

$$\begin{aligned}
 F_{BCo}(x, y, z, d, D_H, H_H, b, h, l) = & \\
 = & \left( \left[ F_{HS} \left( x, \sqrt{y^2 + z^2}, -\frac{H_H}{2}, \frac{d}{2}, \frac{H_H}{2}, \frac{D_H}{2} \right) \wedge \right. \right. \\
 & \left. \left. \wedge \left( x + \frac{H_H}{2} \right) \wedge \neg \left( x - \frac{H_H}{2} \right) \right] \right) \vee \\
 \vee & \left[ \left[ \left( \left( \frac{d}{2} \right)^2 - y^2 - z^2 \right) \wedge \left( x + l + \frac{H_H}{2} \right) \wedge \neg x \right] \wedge \right. \\
 & \left. \wedge \neg x \right] \wedge \left[ \left[ \left( \frac{b}{2} \right)^2 - y^2 \right] \wedge \left( x - \frac{H_H}{2} + h \right) \right]. \quad (12)
 \end{aligned}$$

В формулах (10)–(12) следующие параметры:  $d$  – номинальный диаметр резьбы;  $D_H$  – диаметр головки;  $H_H$  – длина головки;  $b$  – ширина прорези под отвертку;  $h$  – глубина прорези под отвертку;  $l$  – длина ножки винта.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, формулами (8)–(12) представлены функциональные модели геометрической структуры наиболее распространенных крепежных элементов: гаек, болтов и винтов различных типов. Параметризация таких моделей предоставляет гибкий механизм для моделирования таких объектов с различными размерными характеристиками. Полученные модели после построения соответствующих дискретных представлений позволяют рассматривать крепежные объекты в качестве самостоятельных участников вычислительного эксперимента (например, в контактных задачах на базе метода конечных элементов). Общим недостатком полученных моделей является отсутствие геометрической информации о структуре резьбы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Farin, G. Handbook of computer-aided geometric design / G. Farin, J. Hoschek, M.-S. Kim. – Amsterdam : Elsevier Science B.V., 2002 – 848 p.
2. Agoston, M. K. Computer graphics and geometric modeling: implementation and algorithms / Max K. Agoston. – London : Springer-Verlag, 2005. – 959 p.
3. Голованов, Н. Н. Геометрическое моделирование / Н. Н. Голованов. – М. : Издательство физико-математической литературы, 2002. – 472 с.

4. Рвачев, В. Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения / В. Л. Рвачев. – К. : Наукова думка, 1982. – 552 с.
5. Рвачев, В. Л. Метод R-функций (RFM) в краевых задачах с геометрической и физической симметрией / В. Л. Рвачев, Т. И. Шейко, В. Шапиро // Математичні методи та фізико-механічні поля. – 1998. – 41, № 1. – С. 146–159.
6. Рвачев В. Л. Новые подходы к построению уравнений трехмерных локусов с помощью R-функций / В. Л. Рвачев, А. В. Толок, Р. А. Уваров, Т. И. Шейко // Вісник Запорізького державного університету. – 2000. – № 2. – С. 119–130.
7. Рвачев В. Л. Введение в теорию R-функций / В. Л. Рвачев, Т. И. Шейко // Проблемы машиностроения. – 2001. – Т. 4, № 1–2. – С. 46–58.
8. Кравченко, В. Ф. Алгебра логики, атомарные функции и вейвлеты в физических приложениях / В. Ф. Кравченко, В. Л. Рвачев. – М. : Физматлит, 2006. – 416 с.
9. Потышко, А. В. Справочник по инженерной графике / А. В. Потышко, Д. П. Крушевская. – К. : Будівельник, 1983. – 264 с.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2012.

Чопоров С. В., Гоменюк С. І., Лисняк А. О., Панасенко Є. В.  
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕЯКИХ  
КРІПІЛЬНИХ З'ЄДНАНЬ НА БАЗІ ТЕОРІЇ R-ФУНКЦІЙ

У статті розглянута проблема математичного моделювання складних геометричних об'єктів на базі теорії R-функцій. Запропоновано нові математичні моделі найбільш поширених гайкових та болтових з'єднань.

**Ключові слова:** математична модель, R-функція, гайка, болт.

Choporov S. V., Gomenyuk S. I., Lisnyak A. A., Panasenko E. V.  
MATHEMATICAL MODELING OF SOME FASTENERS  
ON THE BASIS OF R-FUNCTIONS

The functional approach is one of the most general approaches in geometrical modeling. The functional approach describes complex geometrical objects (like engines, aircrafts, etc.) using mathematical formulas. A popular method for representation geometrical object in mathematical formulas uses implicit functions. These implicit functions can be constructed using logical operations under

corresponded to simple objects functions. V. L. Rvachev real-valued functions called R-functions represent logical operations (negation, conjunction, disjunction, etc) under implicit functions.

A fastener is a hardware device that mechanically joins or affixes two or more objects together. In the article authors propose geometrical models based on R-functions for different fasteners (some types of bolts, nuts).

In the first section of the article authors describe implicit functions for representation of basic primitives (a regular polygon, a chamfer). The next section aims to obtain of 3D models of fasteners using R-functions under primitives. Some visual examples are shown in the final section.

**Key words:** mathematical model, R-function, nut, bolt.

## REFERENCES

1. Farin G., Hoschek J., Kim M. S. Handbook of computer-aided geometric design, Amsterdam, Elsevier Science B.V., 2002, 848 p.
2. Agoston M.K. Computer graphics and geometric modeling: implementation and algorithms, London, Springer-Verlag, 2005, 959 p.
3. Golovanov N.N. Geometricheskoe modelirovanie, Moscow, Izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury', 2002, 472 p.
4. Rvachyov V.L. Teoriya R-funkciy I nekotory'e eyo ghbkhzheniya, Kiev, Naykova dumka, 1982, 552 p.
5. Rvachev V. L., Sheyko T. I., Shapiro V. Metod R-funkciy v kraevy'x zadachax s geometricheskoy I fizicheskoy simmetriey, *Matematychni metody te fiziko-mekhanichni polia*, 1998, 41 No 1, pp. 146–159.
6. Rvachev V.L., Sheyko T.I. Novy'e podkhody' k postroeniyu uravneniy tpezhmemy'x lokusov s pomoshh'yu R-funkciy, *Vicnyk Zaporizkoho derzhavnoho universytetu*, 2000, No 2, pp. 119–130.
7. Rvachev V.L., Sheyko T.I. Vvelenie v teoriyu R-funkciy, *Problemy' mashinostroeniya*, Vol. 4, No 1–2, pp. 46–58.
8. Kravchenko V.F., Rvachev V.L. Algebra logiki, atomarny'e funkciy i veyvlety' v fizicheskix prilozheniyax, Moscow, Fizmatlit, 2006, 416 p.
9. Potishko A.V., Krushevskaya D.P. Spravochnik po inzhenernoy grafike, Kiev, Budivelnik, 1983, 264 p.

УДК 658.512.011:681.326:519.713

Хаханов В. И.<sup>1</sup>, Мурад Али Аббас<sup>2</sup>, Литвинова Е. И.<sup>3</sup>, Хаханова И. В.<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Д-р техн. наук, профессор Харьковского национального университета радиоэлектроники

<sup>2</sup>Аспирант Харьковского национального университета радиоэлектроники

## МОДЕЛИ ВСТРОЕННОГО РЕМОНТА ЛОГИЧЕСКИХ БЛОКОВ

Предложены модели комбинационных схем, ориентированные на решение практических задач встроенного восстановления работоспособности компонентов логических устройств. Логическая схема дополняется операционным и управляющим автоматами моделирования цифровых устройств, что увеличивает время обработки и аппаратные затраты для создания оболочки адресуемых элементов. Структуры также можно использовать для аппаратного моделирования функциональностей цифровых проектов на основе использования PLD, что дает возможность существенно повысить быстродействие верификации программных моделей. Предложенное решение задачи встроенного ремонта логических элементов комбинационных схем дает возможность комплексно решать проблему автономного восстановления работоспособности цифровых систем на кристаллах за счет временной и аппаратной избыточности проекта [1–23].

**Ключевые слова:** комбинационная схема, восстановление работоспособности, моделирование, верификация, программная модель.

© Хаханов В. И., Мурад Али Аббас, Литвинова Е. И., Хаханова И. В., 2012