

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. О. СУХОМЛИНСЬКОГО**

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

**№ 2
жовтень 2016**

**Миколаїв
МНУ імені В. О. Сухомлинського
2016**

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського
(протокол № 7 від 25 жовтня 2016 року)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Валерій БУДАК доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАПН України; голова редакційної колегії;
Сергій УСТЕНКО доктор технічних наук, доцент, головний редактор;
Віктор МЕЛЬНИК кандидат технічних наук, доцент, відповідальний секретар.

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Валерій БОРИСЕНКО доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського;
Володимир ГНАТУШЕНКО доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих систем обробки інформації Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара;
Ігор КОВАЛЕНКО доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;
Володимир КОРЧИНСЬКИЙ доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронних засобів телекомунікацій Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара;
Костянтин КОШКІН доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;
Леонід КУЦЕНКО доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки Національного університету цивільного захисту України;
Максим МУСІЄНКО доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій і програмних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили;
Валерій ПОЗДЄЄВ доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського;
Сергій ПРИХОДЬКО доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;
Микола ФІСУН доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили;
Анатолій ХОМЧЕНКО доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної та вищої математики Чорноморського національного університету імені Петра Могили;
Ольга ШОМАН доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геометричного моделювання та комп'ютерної графіки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Олександр НІЦІН доктор технічних наук, професор, професор кафедри геометричного моделювання та комп'ютерної графіки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;
Олександр ЧЕРНІКОВ доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

Г 35 **Геометричне моделювання та інформаційні технології:** науковий журнал / за ред. Сергія Устенка. — № 2, жовтень 2016. — Миколаїв : МНУ імені В. О. Сухомлинського, 2016. — 126 с.

ISSN 2524-0978

У науковому журналі висвітлено актуальні питання геометричного моделювання, комп'ютерних систем, інформаційних технологій тощо. Авторами виразно актуалізуються поняття «комп'ютерне моделювання», «геометричне моделювання», «програмування», «інформаційна технологія», «нейронна мережа» та інші. До авторських концепцій залучено: пакети моделювання FemLab, FEMAP з розв'язувачем NASTRAN, стандарт STEP, технологію ATM, модель BOCR.

Видання адресовано науковцям, викладачам, студентам технічних спеціальностей.

УДК 514.8+519.87+004
ББК 32.81+30вб

ЗМІСТ

Тетяна АЛТУХОВА

Апроксимація багатовимірних нелінійних об'єктів степеневими рядами методом зворотнього поширення похибки..... 6

Олег БЕРЕЗЬКИЙ, Леся ДУБЧАК, Надія ВАСИЛЬКІВ

Компетентнісний підхід до підготовки бакалаврів за спеціальністю «Комп'ютерна інженерія» 11

Олена БІДНІЧЕНКО

Дослідження складу n -вимірних геометричних образів..... 17

Валерій БОРИСЕНКО, Ірина УСТЕНКО

Комп'ютерне моделювання плоских кривих стосовно до теоретичного креслення корпусу судна 22

Максим БОРИСЕНКО, Олена БОЙЧУК, Ірина БОРИСЕНКО, Юрій РОГОВЦОВ

Комп'ютерне моделювання вільних коливань тонких пластин з різних матеріалів..... 29

Свєнґіа ВАСИЛИНЕНКО, Валерій БОНДАРЕНКО

Нормативне забезпечення представлень прикладних інтерпретованих конструкцій геометричних моделей у STEP 34

Ігорь КОВАЛЕНКО, Андрей МАНДРА, Сергей БОРДУН

Информационная технология выбора транспортных средств для организации мультимодальных перевозок грузов..... 39

Дмитро КОТЛЯР, Дмитро ВОЛІК

Дослідження ефекту інтерференції потоку порохових газів у глушнику шуму пострілу стрілецької зброї..... 45

Катерина КУЗЬМА

Обчислювальна технологія визначення стандарту оцінювання для критеріально-орієнтованих тестів 50

Леонід КУЦЕНКО, Олег СЕМКІВ

Нехаотичні траєкторії коливань вантажу математичного маятника з рухомою точкою підвісу..... 55

Ярослав ЛЕГЕТА, Ольга ШОМАН

Геометричне моделювання центроїд некруглих зубчастих коліс за передавальною функцією 59

Сергій ЛІТНІЦЬКИЙ

Визначення впорядкованого ряду точок апроксимуючої прямої дискретно представленої конічної поверхні..... 64

Олександр МЕЛЬНИК

Моделювання гідродинамічних процесів в разрядноімпульсних технологіях..... 69

Віктор МЕЛЬНИК, Сергій ЛУКЬЯНЧИКОВ

Застосування пакету програм «FEMLAB» для моделювання роботи параметричного гідроакустичного випромінювача 74

Вікторія ПАХОМОВА

Дослідження на імітаційних моделях можливості використання технології АТМ в інформаційно-телекомунікаційній системі Придніпровської залізниці 79

Ганна ПОГРОМСЬКА, Наталя МАХРОВСЬКА

Засоби генерації звітів: порівняльний аналіз та тенденції розвитку 84

Олена СУХАРЬКОВА

Розпізнавання форми фазової траєкторії коливань пружинного маятника під рухомим візком 93

Сергій УСТЕНКО, Сергій ЛУКЬЯНЧИКОВ

Застосування словникових методів стиснення для компресії аудіо даних з регульованими втратами 98

Юрій ХОЛКОВСЬКИЙ

Моделювання транспортних комунікацій на основі дискретно-інтерполяційного методу..... 102

<i>Анатолій ХОМЧЕНКО, Олена КРЕМЕНЧЕНКО, Єлизавета ЗАВАЛКО</i> Стереометрія ізопараметричних апроксимацій: нестандартні базиси.....	106
<i>Сергій ШЕВЧЕНКО</i> Визначення форми профілю відбивача пожежного сповіщувача диму	111
<i>Ольга ШОМАН, Володимир ДАНИЛЕНКО</i> Загальні елементи спеціальних зображень	118
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	123

CONTENTS

<i>Tetiana ALTUKHOVA</i> Approximation of multidimensional nonlinear objects of power series method of back-propagation errors	6
<i>Oleh BEREZSKY, Lesia DUBCHAK, Nadiia VASYLKIV</i> Competence approach to preparing bachelor of computer engineering	11
<i>Elena BIDNICHENKO</i> The research of the n -dimensional geometric images	17
<i>Valerii BORYSENKO, Iryna USTENKO</i> Computer simulation of plane curves in respect of theoretical drawing of the ship's hull	22
<i>Maxim BORISENKO, Olena BOYCHUK, Irina BORISENKO, Yuriy ROGOVTSOV</i> Computer modeling of free vibrations of thin plates with different materials	29
<i>Yevgeniia VASILINENKO, Valerii BONDARENKO</i> Normative software representations of applied interpreted structures of geometric models in terms of structure STEP	34
<i>Igor KOVALENKO, Aindrii MANDRA, Sergii BORDUN</i> Information technology equipment for the selection of multimodal transportation of shipment	39
<i>Dmytro KOTLYAR, Dmytro VOLIK</i> Study of the interference effect of powder gases flow in the silencer suppressor for weapons	45
<i>Kateryna KUZMA</i> Computer technologies of definition of standart criteria for criterion-referenced tests	50
<i>Leonid KUTSENKO, Oleg SEMKIV</i> Not chaotic trajectories of fluctuations of freight simple pendulum with the relative frame point of the suspension	55
<i>Yaroslav LEGETA, Olga SHOMAN</i> Geometric modeling of centroid noncircular gears by transfer function	59
<i>Serhii LITNITSKIY</i> Definition of discretely presented conical surface approximating directing points ordered number	64
<i>Alexander MELNIK</i> Simulation of hydrodynamic processes in razryadnoimpul'snyh technology	69
<i>Victor MELNIK, Serhiy LUKYANCHIKOV</i> Application software package «FEMLAB» to simulate operation parametric underwater sound projector	74
<i>Viktoriiia PAKHOMOVA</i> Research on simulation models using technology ATM in information-telecommunication systems Dnieper railway	79
<i>Hanna POHROMSKA, Natalia MAKHROVSKA</i> The reporting tools: comparative analysis and trends of development	84
<i>Olena SUKHARKOVA</i> Discernment of the form of the phase trajectory of fluctuations the spring pendulum under the relative frame cart	93
<i>Serhiy USTENKO, Serhiy LUKYANCHIKOV</i> Application dictionary compression method for compression of audio data with adjustable loss	98
<i>Yuriy KHOLKOVSKY</i> Modeling of transport communications on the basis of discrete-interpolation method	102
<i>Anatoly KHOMCHENKO, Elena KREMENCHENKO, Elizaveta ZAVALKO</i> Stereometry of isoparametric approximations: nonstandard bases	106
<i>Sergey SHEVCHENKO</i> Definition of reflector profile shape for the fire protection smoke detector	111
<i>Olga SHOMAN, Volodymyr DANYLENKO</i> General elements of the special images	118
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	123

АПРОКСИМАЦІЯ БАГАТОВИМІРНИХ НЕЛІНІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ СТЕПЕНЕВИМИ РЯДАМИ МЕТОДОМ ЗВОРОТНЬОГО ПОШИРЕННЯ ПОХИБКИ

Дана стаття висвітлює питання застосування алгоритму зворотного поширення похибки задля оптимізації значень коефіцієнтів багатовимірного функціонального ряду Тейлора з метою підвищення точності ідентифікації та апроксимації багатовимірних нелінійних об'єктів систем керування.

Ключові слова: багатовимірний нелінійний об'єкт, ряд Тейлора, штучна нейронна мережа, ідентифікація, метод зворотного поширення похибки.

На теперішній час новітні розробки вітчизняних і закордонних вчених спрямовані на пошуки оптимальних топологій штучних нейронних мереж та їх алгоритмів тренування з огляду на універсальність застосування останніх в задачах автоматичного керування складними нелінійними об'єктами. Загально відомо, що багато змінних стану не можуть бути ідентифіковані або виміряні класичними способами, що становить задачу пошуку більш точних методів ідентифікації змінних стану багатовимірних об'єктів систем керування. Вирішення даної задачі, крім іншого, полягає у використанні методів теорії наближення функцій степеневими рядами разом із методами теорії штучного інтелекту. Необхідно звернути увагу і на те, що поєднання цих методів дасть можливість зекономити обчислювальні ресурси за рахунок оптимізації структури степеневих рядів.

Під час аналізу вітчизняних і закордонних публікацій було виявлено, що питанню ідентифікації нелінійних багатовимірних об'єктів систем керування присвячено доволі багато наукових праць і досліджень [1, 2, 3, 4], але питання застосування методів теорії штучного інтелекту у симбіозі із теорією функціональних степеневих рядів, зокрема із рядами Тейлора для багатовимірного випадку, не висвітлено в достатній мірі.

З вище наведеного випливає основна **мета дослідження** – застосувати алгоритм зворотного поширення похибки для оптимізації коефіцієнтів багатовимірного степеневих рядів Тейлора задля покращення апроксимаційних характеристик останнього, що має довести доцільність такого симбіозу у питаннях підвищення точності ідентифікації багатовимірних нелінійних об'єктів систем керування.

Для детального аналізу було представлено розвинення цільової функції багатьох змінних у вигляді багатовимірного функціонального ряду Тейлора:

$$f(x, y) = \sum_{k=0}^n \frac{\left[(x-x_0) \frac{\partial}{\partial x} + (y-y_0) \frac{\partial}{\partial y} \right]^k \cdot f(x_0, y_0)}{k!} + R_k(x, y), \quad (1)$$

де n – кількість змінних; x, y – змінна функції;

$R_k(x, y)$ – залишковий член у формі Лагранжа:

$$R_k(x, y) = \frac{\left[(x-x_0) \frac{\partial}{\partial x} + (y-y_0) \frac{\partial}{\partial y} \right]^{k+1} \cdot f(\xi, \zeta)}{(k+1)!}, \quad \xi \in [x_0, x], \zeta \in [y_0, y]. \quad (2)$$

Отже формула представлення функції $f(x, y)$ у вигляді багатомірного функціонального ряду Тейлора має наступний вигляд:

$$f(x, y) = a_0 + a_1 \cdot \left[(x - x_0) \frac{\partial}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial}{\partial y} \right] + a_2 \cdot \frac{\left[(x - x_0) \frac{\partial}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial}{\partial y} \right]^2}{2!} + \dots +$$

$$+ a_k \cdot \frac{\left[(x - x_0) \frac{\partial}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial}{\partial y} \right]^k}{k!} + \frac{\left[(x - x_0) \frac{\partial}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial}{\partial y} \right]^{k+1}}{(k+1)!} \cdot f(\xi, \zeta), \quad (3)$$

де a – невідомі коефіцієнти при відповідних членах функціонального ряду.

Для дослідження було обрано довільну цільову функцію двох змінних, що представлена у вигляді:

$$f(x, y) = x^2 + y^2 + x \cdot e^{(y^2 - x^2)} + 5. \quad (4)$$

Після розкладення у функціональний ряд Тейлора даної вихідної функції до 6 членів ряду, остаточна формула функції $f(x, y)$ у вигляді багатомірного ряду набуває вигляду:

$$f(x, y) = \frac{x^5}{2} - x^3 \cdot y^2 - x^3 + x^2 + \frac{x \cdot y^4}{2} + x \cdot y^2 + x + y^2 + 5. \quad (5)$$

Не важко помітити, що функціональний ряд Тейлора (5) описує еквівалентну йому штучну нейронну мережу, що містить вхідний, вихідний шари та два приховані. Дана нейронна мережа представлена на рис. 1.

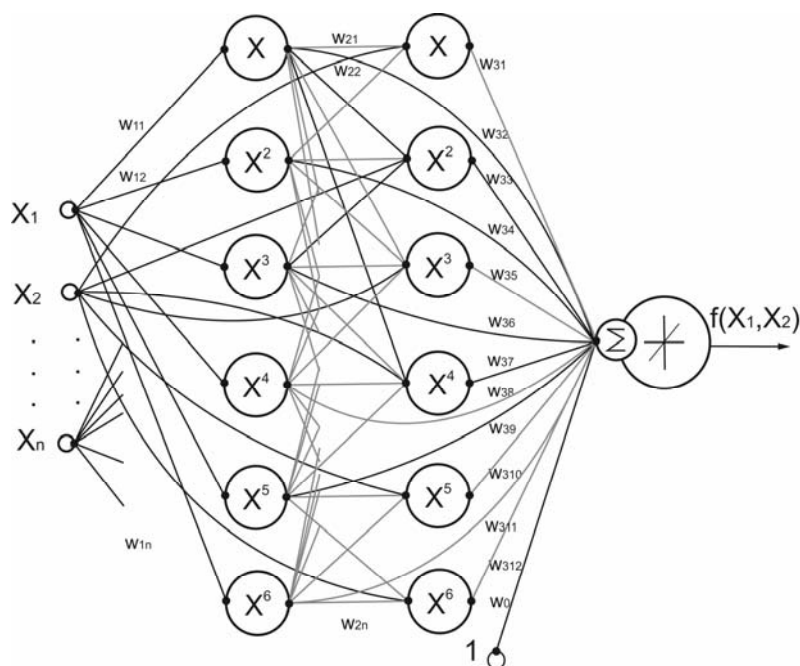


Рис. 1. Штучна нейронна мережа на базі функціонального ряду Тейлора (5)

На рис. 2 зображена первісна багатомірна цільова функція $f(x, y)$, тоді як рис. 3 є результатом ідентифікації функціонального взаємозв'язку двох змінних (5).

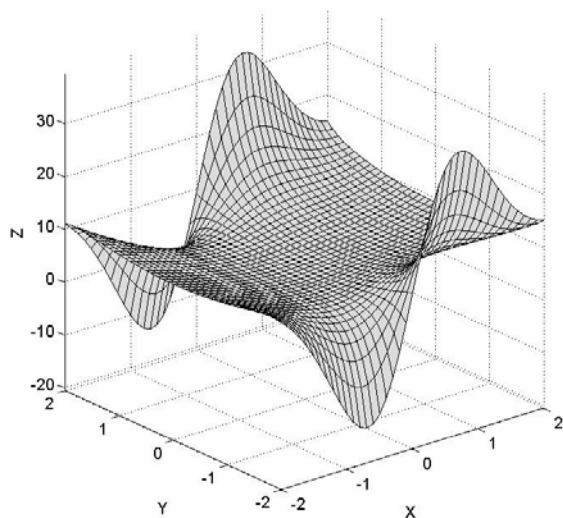


Рис. 2. Зображення первісної цільової функції

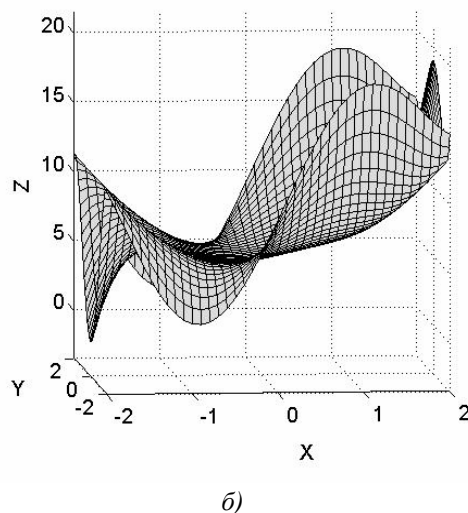
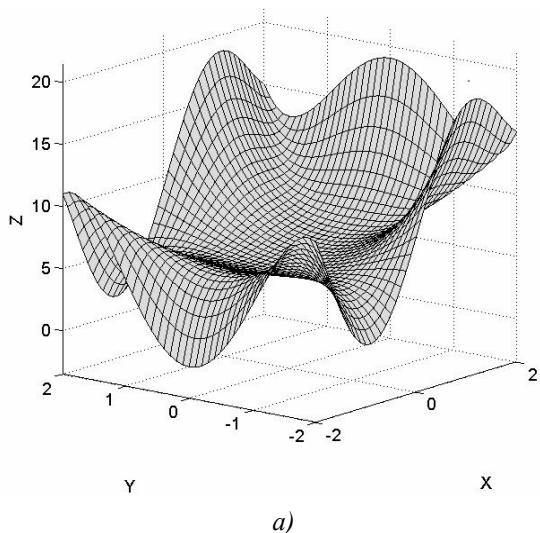


Рис. 3. Результат ідентифікації функціонального взаємозв'язку зображеного графічно на рис. 1

Якщо дана функціональна залежність (5) описує еквівалентну штучну нейронну мережу прямого поширення, то у якості вагових коефіцієнтів вихідного шару виступають коефіцієнти при відповідних членах ряду Тейлора, що дає змогу застосувати найпоширеніші алгоритми тренування нейронних мереж з метою підвищення точності апроксимаційних характеристик багатовимірного функціонального ряду Тейлора.

Одним із найпоширеніших алгоритмів тренування штучних нейронних мереж є алгоритм зворотного поширення похибки [5–9].

$$\Delta w_{ji}(n) = \eta \cdot e_j(n) \cdot \phi'_j(v_j(n)) \cdot y_j(n), \quad (6)$$

де η – параметр швидкості навчання алгоритму зворотного поширення похибки; $e_j(n)$ – сигнал похибки вихідного нейрону j на ітерації n :

$$e_j(n) = d_j(n) - y_j(n), \quad (7)$$

$y_j(n)$ – функціональний сигнал на виході нейрону j на ітерації n ; $\phi'_j(v_j(n))$ – похідна відповідної функції активації.

Звертаючи увагу на структуру отриманої штучної нейронної мережі, доцільно буде застосування даного алгоритму до коефіцієнтів при відповідних членах степеневого ряду Тейлора (5).

Після тренування штучної нейронної мережі (рис. 1) шляхом послідовного пред'явлення вхідних образів з одночасним підстроюванням вагових коефіцієнтів через алгоритм зворотного поширення похибки, було досягнуто бажаний результат, що зведений у табл. 1.

Таблиця 1
Результати тренування нейронної мережі

Вагові коефіцієнти	Ряд Тейлора	Нейронна мережа
w_0	5	6,12
w_{31}	0	0,0213
w_{32}	1	1,34
w_{33}	1	1,062
w_{34}	1	1,13
w_{35}	0	0,005
w_{36}	-1	-1,57
w_{37}	0,5	0,724
w_{38}	0	0,001
w_{39}	0,5	0,64
w_{310}	0	0,002
w_{311}	0	0,003
w_{312}	0	0,001

В даній таблиці представлені вагові коефіцієнти синапсів до і після тренування, а на рис. 4 зображено результат застосування алгоритму тренування до багатовимірного функціонального ряду Тейлора.

На рис. 4, б можна помітити, що на проміжку $(-1, 1)$ коливання багатовимірного нелінійного об'єкту після застосування алгоритму зворотного поширення похибки відносно результату ідентифікації функціонального взаємозв'язку на базі степеневому ряду Тейлора (рис. 3, б) значно зменшилися, тобто відносне відхилення від первісної цільової функції до тренування складало 54,4%, а після застосування алгоритму – 21,63%. З рис. 3, б та 4, б і з вище написаного видно, що найбільша відносна похибка на проміжку $(-1, 1)$ функціонального ряду Тейлора значно вища ніж нейронної мережі. Звідси випливає, що застосування алгоритму зворотного поширення похибки до штучної нейронної мережі на базі степеневому ряду Тейлора допомогло значно знизити відносну похибку.

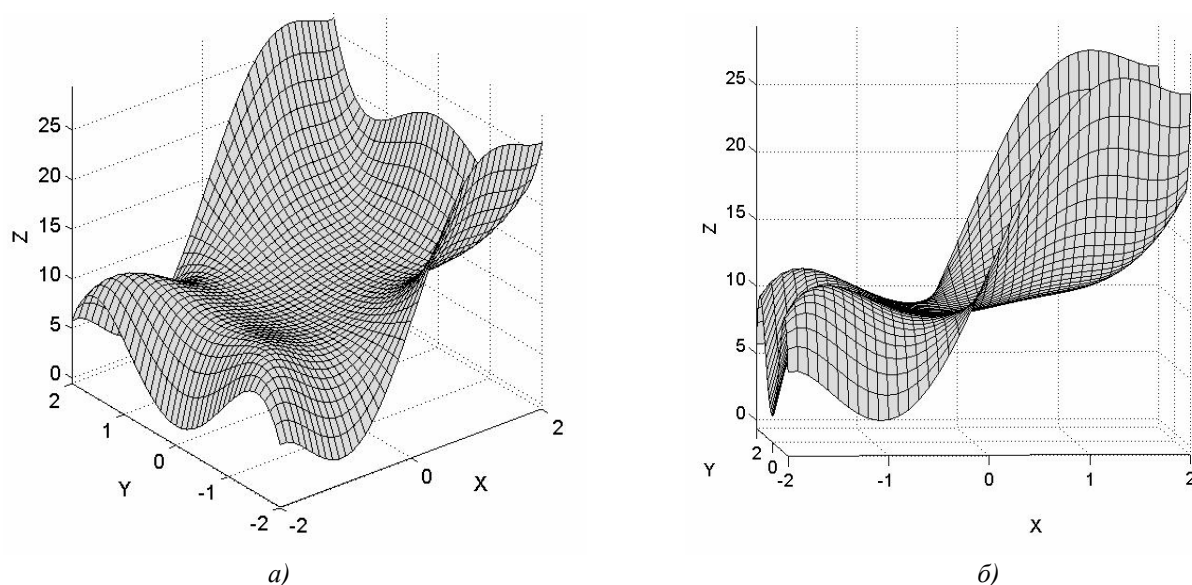


Рис. 4. Результат застосування алгоритму зворотного поширення похибки до коефіцієнтів багатовимірного функціонального ряду Тейлора

У статті розглянуто питання підвищення точності ідентифікації та апроксимації багатовимірних нелінійних об'єктів систем керування на прикладі багатовимірного функціонального ряду Тейлора. Запропонований підхід оптимізації коефіцієнтів степеневого ряду через застосування алгоритму зворотного поширення похибки є ефективним в задачах ідентифікації та апроксимації багатовимірних нелінійних об'єктів, що підтверджується отриманим результатом, а саме зменшенням максимальної відносної похибки апроксимації до 21,63%.

Список використаних джерел

1. Крючин О. В. Параллельные градиентные алгоритмы подбора весовых коэффициентов / О. В. Крючин, Е. В. Вязовова // Вестн. Тамб. ун-та. Сер. Естеств. и техн. науки. — 2013. — Т. 18, № 1. — С. 183—187.
2. Telyakovskii S. A. Convergence of multiple Fourier series for functions of bounded variation / S. A. Telyakovskii, V. N. Temlyakov. — Moscow : Steklov Mathematical Institute. Mathematical Notes. — 1997. — № 61 (4). — pp. 583—595.
3. Царегородцев В. Г. Определение оптимального размера нейросети обратного распространения через сопоставление средних весов синапсов // Материалы XIV Международной конференции по нейрокибернетике. — Ростов-на-Дону, 2005. — Т. 2. — С. 60—64.
4. Hui C.-L. (ed.) Artificial Neural Networks — Application. Издательство InTech, 2011. — 598 pp.
5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. — 2-е изд. — Пер. с англ. — М. : Вильямс, 2006. — 1104 с. : ил. Парал. тит. англ.
6. Боровиков В. П. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных. — М. : Горячая линия — Телеком, 2008. — 392 с.
7. Барский А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. — М. : Финансы и статистика, 2004. — 176 с : ил. — (Прикладные информационные технологии).
8. Suzuki K. (ed.) Artificial Neural Networks — Architectures and Applications. Издательство InTech, 2013. — 264 pp.
9. Graupe D. Principles of Artificial Neural Networks. 3rd Edition. — World Scientific, 2013. — 363 p.

Tetiana ALTUKHOVA
Krasnoarmeysk

APPROXIMATION OF MULTIDIMENSIONAL NONLINEAR OBJECTS OF POWER SERIES METHOD OF BACK-PROPAGATION ERRORS

This work deals with the application of the algorithm back-propagation for optimizing the values of the coefficients of a multidimensional functional series of Taylor for the purpose of increasing the accuracy of identification and approximation of multidimensional nonlinear objects control systems. The proposed approach optimization of the coefficients of a power series using the algorithm back-propagation is effective in problems of identification and approximation of multidimensional nonlinear objects, is confirmed by the results obtained, namely the reduction of the maximum relative error approximation to 21,63%.

Key words: multidimensional object, Taylor, artificial neural network, identification, back-propagation.

Татьяна АЛТУХОВА
г. Красноармейск

АПРОКСИМАЦИЯ МНОГОМЕРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ СТЕПЕННЫМИ РЯДАМИ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОШИБКИ

В данной работе рассмотрены вопросы применения алгоритма обратного распространения ошибки для оптимизации значений коэффициентов многомерного функционального ряда Тейлора с целью повышения точности идентификации и аппроксимации многомерных нелинейных объектов систем управления.

Ключевые слова: многомерный нелинейный объект, ряд Тейлора, искусственная нейронная сеть, идентификация, метод обратного распространения ошибки.

Стаття надійшла до редколегії 30.09.2016

КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД ДО ПІДГОТОВКИ БАКАЛАВРІВ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»

У даній статті розглянуто приклад використання компетентнісного підходу до розробки освітньо-професійної програми підготовки бакалавра з комп'ютерної інженерії галузі знань «Інформаційні технології». Авторами обґрунтовано вибір інтегральної, загальних та спеціальних компетентностей. Крім того, запропоновано застосовувати компетентнісний підхід до побудови структурної схеми взаємозв'язків дисциплін, що дозволяє вдосконалити навчальний план підготовки бакалаврів.

Ключові слова: компетентність, комп'ютерна інженерія, бакалавр, освітньо-професійна програма.

Основною вимогою сучасної вищої освіти в галузі комп'ютерної інженерії є підготовка конкурентоспроможного фахівця, який здатний працювати в колективі, розв'язувати складні практичні задачі самостійно та швидко адаптуватися до зміни сучасних комп'ютерних технологій. Для досягнення цієї мети необхідно застосовувати компетентнісний підхід. Такий підхід вже успішно застосовано у США, Китаї та Європі [1].

Дослідження компетентнісного підходу здійснювали науковці В. Байденко, Н. Бібік, Е. Зеєр, І. Зимня, А. Маркова, О. Овчарук, В. Петрук, О. Пометун, С. Раков, М. Розов, О. Савченко, Ю. Татур, Ю. Тихомиров, А. Хуторський; впровадженню цього підходу у професійну підготовку фахівців значну увагу приділили А. Алексюк, В. Бондар, Н. Дем'яненко, В. Євдокимов, А. Капська, С. Козак, М. Лазарєв, О. Мармоза, Л. Нічуговська, В. Олійник, Ю. Рашкевич, О. Романовський, В. Сидоренко, Т. Сорочан; шляхи модернізації освіти на компетентнісній основі розроблялися Б. Гершунським, Б. Ельконіним, Н. Кузьміною, А. Марковою, В. Сєриковим, І. Фрумїним, В. Шадриковим, С. Шишовим; окремі проблеми компетентнісного підходу у системі вищої освіти розглядалися у роботах І. Бабіна, П. Бачинського, Г. Гавришак, Н. Дворнікової, І. Драча, Л. Коваль, Я. Кодлюк, О. Локшиної, М. Нагач, Н. Нагорної, С. Ніколаєнко, О. Овчарук, Л. Пильгун, І. Родигіна, О. Садівник, Л. Сень, С. Сисоєвої, О. Ситник, Г. Терещук, С. Трубаچهвої, Н. Фоменко [2].

Поняття компетентності трактується науковцями по-різному. Зокрема, Ю. М. Рашкевич зазначає, що компетентність – це динамічне поєднання знань, розуміння, навичок, умінь та здатностей. Компетентність нерозривно пов'язана з результатами навчання, тобто з тим, що очікується, повинен знати, розуміти та буди здатним продемонструвати студент після завершення навчання. Такий підхід застосовується до розробки сучасної освітньо-професійної програми вищої освіти [3].

Метою даної статті є застосування компетентнісного підходу до формування освітньо-професійної програми та навчального плану підготовки бакалавра з комп'ютерної інженерії.

В загальному розрізняють такі компетентності [3]:

- інтегральна – узагальнений опис кваліфікаційного рівня, який виражає основні компетентнісні характеристики рівня щодо навчання та/або професійної діяльності. Інтегральна компетентність визначає рівень вищої освіти;
- загальні – універсальні компетентності, що не залежать від предметної області, але важливі для успішної подальшої професійної та соціальної діяльності здобувача в різних галузях та для його особистісного розвитку;
- спеціальні (фахові, предметні) – компетентності, що залежать від предметної області та є важливими для успішної професійної діяльності за конкретним фахом.

Усі ці типи компетентностей повинні бути враховані при розробці освітньо-професійної програми.

В загальному освітня (освітньо-професійна чи освітньо-наукова) програма – система освітніх компонентів на відповідному рівні вищої освіти в межах спеціальності, що визначає вимоги до рівня освіти осіб, які можуть розпочати навчання за цією програмою, перелік навчальних дисциплін і логічну послідовність їх вивчення, кількість кредитів ЄКТС, необхідних для виконання цієї програми, а також очікувані результати навчання (компетентності), якими повинен оволодіти здобувач відповідного ступеня вищої освіти.

Пропонована освітня програма підготовки бакалавра спеціальності «Комп'ютерна інженерія» галузі знань «Інформаційні технології» базується на загальновідомих положеннях та результатах наукових досліджень з комп'ютерної інженерії та орієнтує на актуальні спеціалізації, в рамках яких можлива подальша професійна та наукова кар'єра, комп'ютерні системи, комп'ютерні мережі, захист комп'ютерних систем та мереж, комп'ютерна інженерія.

Оскільки компетентність пов'язана з відповідними результатами навчання, то доцільно її розглядати з точки зору знань, умінь і навичок, які повинні отримати студенти в процесі навчання. З теорії педагогіки знання – це продукт пізнання людиною предметів і явищ, діяльності, законів природи і суспільства. Уміння – використання суб'єктом певних знань і навичок для вибору і здійснення прийомів дій відповідно до поставленої мети. Навичка – дія, що характеризується високою мірою засвоєння (усталене уміння) [4].

При формулюванні результатів навчання необхідно:

- визначити якому ієрархічному рівню має відповідати результат навчання;
- визначити дієслово, яке описує компетентність відповідного рівня;
- вказати предмет вивчення або предмет дії (іменник, що слідує за дієсловом);
- за необхідності навести умови/обмеження, за яких необхідно демонструвати результат навчання.

Для розробки компетентностей необхідно також врахувати вимоги роботодавців до фахівців з комп'ютерної інженерії. Опитування, проведені серед європейських працедавців (переважно представників промисловості та бізнесу), показали, що шанси отримати належне місце на ринку праці залежать від [3]:

- навичок, що характеризують придатність до працевлаштування – 78%;
- позитивного ставлення до роботи – 72%;
- відповідного практичного досвіду (виробничої практики) – 54%;
- напряду здобутої освіти та кваліфікації – 41%;
- рівня успішності під час навчання у вищому навчальному закладі – 28%.

За оцінками недавніх випускників європейських вищих навчальних закладів факторами, які підвищують шанси працевлаштування, є:

- досвід та наявність контактів із професійним середовищем – 25%;
- інтелектуальний капітал – 16%;
- рівень оцінок – 13%;
- рівень культурного розвитку – 13%;
- наявність вищої освіти – 11%;
- наявність водійських прав – 11%;
- досвід професійної праці – 9%.

В результаті проведеного аналізу можна виділити основні компетентності фахівців з комп'ютерної інженерії [3]:

1. Уміння спілкуватися другою (англійською) мовою.
2. Здатність навчатися.
3. Уміння спілкуватися усно та в письмовій формі українською мовою.
4. Уміння бути критичним та самокритичним.
5. Уміння планувати час та керувати ним.
6. Уміння показати обізнаність про рівні можливості та гендерні питання.
7. Здатність продукувати нові ідеї (креативність).
8. Здатність шукати, обробляти та аналізувати інформацію з різних джерел.
9. Орієнтація на безпеку.

10. Уміння ідентифікувати, формулювати та розв'язувати задачі.
11. Уміння застосовувати знання в практичних ситуаціях.
12. Уміння приймати обґрунтовані рішення.
13. Уміння проводити дослідження на відповідному рівні.
14. Уміння працювати в команді.
15. Знання та розуміння предметної області та розуміння фаху.
16. Уміння працювати в міжнародному контексті.
17. Уміння діяти на основі етичних міркувань.
18. Уміння спілкуватися з нефаківцями однієї галузі.
19. Уміння думати абстрактно, аналізувати та синтезувати.
20. Підприємницький дух, ініціативність.
21. Навички взаємодії та міжособистісні навички.
22. Уміння розробляти та керувати проектами.
23. Уміння діяти з соціальною відповідальністю та громадянською свідомістю.
24. Визначеність та наполегливість при виконанні отриманих завдань та покладеної відповідальності.
25. Правильне розуміння та повага до багатокультурності та відмінності.
26. Уміння працювати самостійно.
27. Навички використання інформаційних та комунікативних технологій.
28. Орієнтація на збереження навколишнього середовища.
29. Уміння адаптуватися до нових ситуацій.
30. Уміння оцінювати та підтримувати якість виконаної роботи.
31. Уміння мотивувати людей та рухатись до спільних цілей.

З основних компетентностей можна сформулювати такі інтегральну та загальні компетентності підготовки бакалавра з комп'ютерної інженерії.

Інтегральна компетентність полягає у здатності розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми під час професійної діяльності в галузі комп'ютерних систем та мереж або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів моделювання та проектування комп'ютерних систем і мереж.

Загальні компетентності наступні:

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- здатність планувати та управляти часом;
- знання та розуміння предметної області та розуміння професії;
- здатність спілкуватися українською мовою як усно, так і письмово;
- здатність спілкуватися англійською мовою;
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;
- здатність вчитися і бути сучасно навченим;
- здатність генерувати нові ідеї (креативність);
- здатність працювати в команді;
- навички міжособистісної взаємодії;
- здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

При розробці спеціальних компетентностей авторами враховувались результати навчання кожної дисципліни сучасного навчального плану бакалаврів. На основі проведеного аналізу виділено такі спеціальні компетентності:

1. Оволодіння науковими поняттями, теоріями і методами, необхідними для розуміння принципів роботи та функціонального призначення комп'ютерних систем та мереж.
2. Засвоєння основних нормативно-правових актів та довідкових матеріалів, чинних стандартів і технічних умов, інструкцій та інших нормативно-розпорядчих документів галузі інформаційних технологій.
3. Спроможність розуміння технічних характеристик, конструктивних особливостей, призначення і правил експлуатації комп'ютерних систем та мереж.

4. Здатність до застосування обчислювальної техніки та програмування, володіння навичками роботи з комп'ютером і сучасними САПР для розв'язання задач спеціальності.

5. Застосування охорони праці, виробничої санітарії і пожежної безпеки під час роботи з устаткуванням та обладнанням.

6. Здатність до застосування сучасних технологій та САПР проектування і моделювання комп'ютерних систем та мереж.

7. Спроможність інтегрувати знання і розуміння дисциплін інших інженерних галузей.

8. Здатність використовувати та впроваджувати нові технології, брати участь в модернізації та реконструкції обладнання пристроїв, систем та комплексів, зокрема з метою підвищення їх стійкості.

9. Здатність розуміти і враховувати соціальні, екологічні, етичні, економічні аспекти, що впливають на формування технічних рішень.

10. Здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для розв'язування типових задач спеціальності, а також експлуатації комп'ютерних систем, мереж та їх устаткування.

11. Здатність використовувати знання й уміння для розрахунку, дослідження, вибору, впровадження, ремонту, проектування та моделювання електронних кіл комп'ютерних систем і мереж та їх устаткування.

12. Спроможність ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу систем і складових шляхом використання аналітичних методів і методів моделювання.

13. Здатність досліджувати проблему та визначити обмеження, у тому числі зумовлені проблемами сталого розвитку, впливу на навколишнє середовище та безпеку життєдіяльності.

14. Можливість проектувати комп'ютерні системи і мережі та їх елементи з врахуванням усіх аспектів поставленої задачі, включаючи створення, налагодження, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію.

15. Можливість аргументувати вибір методів розв'язання спеціалізованих задач, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення.

На основі розроблених компетентностей авторами розроблена освітньо-професійна програма для підготовки здобувачів вищої освіти на першому (бакалаврському) рівні за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

Грунтовний аналіз та вдосконалення діючого навчального плану доцільно проводити на основі схем взаємозв'язків кожної дисципліни на основі розроблених компетентностей.

Крім того, для побудови схеми взаємозв'язків дисципліни на основі компетентнісного підходу авторами запропоновано враховувати і вхідні знання, вміння та навички, які необхідні студенту для вивчення даної дисципліни, а також відповідні вихідні результати навчання.

Розглянемо приклад схеми взаємозв'язків дисципліни «Технології проектування комп'ютерних систем» (ТПКС), яка вивчається у 6 та 7 семестрах, згідно діючого навчального плану (рис. 1).

На даному рисунку представлено знання, які необхідні студенту для вивчення дисципліни ТПКС, зокрема:

- знання архітектури комп'ютера, які отримуються в результаті вивчення дисципліни «Архітектура комп'ютера»;
- знання основних компонентів комп'ютерних систем, отримані в результаті вивчення дисципліни «Комп'ютерні системи»;
- знання основ схемотехніки, базових елементів великих інтегральних схем та їх основних фізичних властивостей як результат вивчення дисциплін «Фізика» та «Комп'ютерна схемотехніка»;
- знання основ мови C++, отриманих в результаті вивчення дисципліни «Програмування».

Серед необхідних умінь варто виділити уміння вибирати необхідні компоненти комп'ютерної системи відповідно до технічного завдання, складати блок-схему алгоритму роботи чи графу роботи пристрою, складати блок-схему та структурну схему роботи великих інтегральних схем, отримані в результаті вивчення дисциплін «Комп'ютерні системи», «Комп'ютерна схемотехніка» та «Алгоритми та методи обчислень», відповідно.

Необхідними для вивчення дисципліни ТПКС є навички роботи з C++ подібними мовами програмування, які студент отримує в результаті вивчення дисципліни «Програмування».

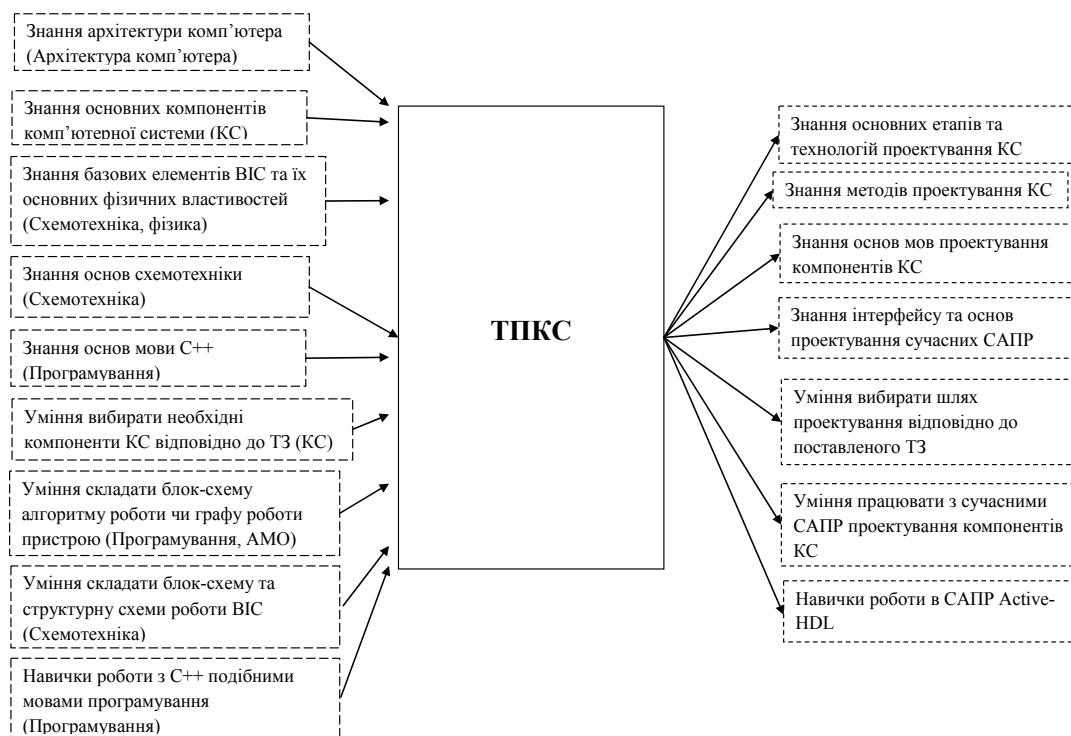


Рис. 1. Схема структурна взаємозв'язку дисципліни «ТПКС»

В результаті вивчення дисципліни «Технології проектування комп'ютерних систем» студент повинен знати основні етапи, технологій та методи проектування, основи мов проектування компонентів комп'ютерних систем, інтерфейс та основи проектування сучасних САПР, уміти вибирати шлях проектування відповідно до поставленого технічного завдання, працювати з сучасними САПР проектування компонентів комп'ютерних систем та отримати навички роботи в САПР Active-HDL. Усі ці результати навчання будуть використовуватися студентом при вивченні дисципліни «Проектування комп'ютерних систем на ПЛІС» та при підготовці дипломного проекту.

Такий ґрунтовний аналіз схеми взаємозв'язку дисципліни підтверджує правильність місця дисципліни ТПКС у навчальному плані та дозволяє вдосконалити її робочу програму.

Аналогічні схеми взаємозв'язку дисциплін використовуються при розробці загальної структурної схеми підготовки бакалавра спеціальності «Комп'ютерна інженерія», на основі якої можна здійснити аналіз доцільності вивчення дисциплін, їх місця та запланованого обсягу кредитів в навчальному плані, а також застосовуються при розробці робочих програм.

Запропоновані в даній статті підходи до формулювання компетентностей можуть бути використані при розробці освітніх програм напряму підготовки «Інформаційні технології» вищими навчальними закладами України.

Крім того, практичний досвід авторів застосування підходу аналізу схем взаємозв'язку дисциплін до вдосконалення навчального плану та розробки робочих програм може бути використаний і для інших напрямів підготовки фахівців у вищих навчальних закладах.

Список використаних джерел

1. Computer Engineering Curricula 2016. Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Engineering. Version 2015 October 25 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.computer.org/cms/Computer.org/professional-education/curricula/ComputerEngineeringCurricula2016.pdf>.
2. Ходань О. Л. Компетентнісний підхід до підготовки фахівців у ВНЗ [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/433/1/КОМПЕТЕНТІСНИЙ_ПІДХІД.pdf.
3. Рашкевич Ю. М. Болонський процес та нова парадигма вищої освіти : монографія / Ю. М. Рашкевич. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. — 168 с.
4. Фіцула М. М. Педагогіка : Навчальний посібник для студентів вищих педагогічних закладів освіти / М. М. Фіцула. — Тернопіль : Навчальна книга — Богдан, 2005. — 232 с.

Oleh BEREZSKY, Lesia DUBCHAK, Nadiia VASYLKIV
Ternopil

COMPETENCE APPROACH TO PREPARING BACHELOR OF COMPUTER ENGINEERING

In this article the basics of competence approach have been proposed to the development of educational and professional training programs for Bachelor of Computer Engineering field of study "Information Technology". The authors justified the choice of integrated, general and specific competences. In addition, the proposed competency was used for building the block diagram of relationships disciplines, allowing improved curriculum for bachelors.

Key words: competence, computer engineering, bachelor, curriculum.

Олег БЕРЕЗСКИЙ, Леся ДУБЧАК, Надежда ВАСЫЛЬКИВ
Тернополь

КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД К ПОДГОТОВКЕ БАКАЛАВРОВ ПО КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

В статье рассмотрены основы компетентностного подхода к разработке образовательно-профессиональной программы подготовки бакалавра по компьютерной инженерии направления подготовки «Информационные технологии». Авторами обоснован выбор интегральной, общих и специальных компетенций. Кроме того, предложено применять компетентностный подход к построению структурной схемы взаимосвязей дисциплин, позволяет усовершенствовать учебный план подготовки бакалавров.

Ключевые слова: компетентность, компьютерная инженерия, бакалавр, образовательно-профессиональная программа.

Стаття надійшла до редколегії 13.10.2016

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ N -ВИМІРНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБРАЗІВ

У статті подано матеріал щодо формування деяких геометричних об'єктів кінематичним способом. Проведено аналіз формул складу тіл шляхом декомпозиції їх на простіші геометричні образи. Отримано формули складу для нуль-, одно-, дво- та тривимірних об'єктів, проведено узагальнення для чотиривимірного простору, наведено формулу для n -вимірних просторів.

Ключові слова: багатовимірні простори, точка, відрізок, багатокутник, багатогранник, чотиривимірний куб, формули складу.

Багатовимірні простори – це об'єкт дослідження геометричної науки. Але зустрітися з питаннями, що пов'язані з ними, можливо в багатьох галузях науки і техніки: у фізиці та механіці; у термодинаміці; у фізичній хімії; у теоретичній фізиці тощо. У Росії на початку 19 століття у напрямках математики, фізики, механіки з'явилися роботи Андрєєва, Власова, Гулака, Граве щодо розглядання багатовимірних просторів. Курс розроблявся у тісному зв'язку з лінійною алгеброю, тому багато фактів цієї багатовимірної геометрії можна знайти у курсах та задачниках з вищої алгебри. На початку 20 сторіччя стає актуальним питання про зображення на кресленнях об'єктів, які мають більше трьох вимірів, наприклад, і області фізико-хімічного аналізу при побудові діаграм багатокомпонентних систем [3]. На сучасному етапі найбільш відомі роботи вчених таких як П. В. Гордєвський [1], П. В. Філіппов [4], І. В. Прокоф'єва [2], та інші, які продовжують розробку теорії багатовимірних просторів з використанням різних розділів математичного апарату: аналітичної геометрії, алгебраїчної теорії лінійних рівнянь, векторній алгебри тощо.

Існують різні способи представлення багатовимірних просторів. У роботах з нарисної геометрії пропонується низка способів побудови креслень багатовимірних об'єктів на основі проєкційного апарату.

Дана робота присвячена дослідженню метода кінематичного утворення тіл та виведення формул складу геометричних образів для просторів різної розмірності.

Тому доцільно розглянути деякі наочні геометричні особливості теорії багатовимірних просторів, в який прийняті такі позначення: K^0 – точка, K^1 – відрізок, K^2 – багатокутник, K^3 – багатогранник. Верхній індекс означає степінь розмірності одиниць, в яких вимірюється геометричний об'єкт. Тобто це є показник розмірності (числа вимірювань) геометричного образу.

Для наочного уявлення про багатовимірні об'єкти та виведення формули їх складу розглянемо кінематичний спосіб утворення, який полягає у розділенні тіла на примітивні геометричні образи та переміщенні їх у просторі.

Для формування кінематичним способом відрізка (одновимірного об'єкта) через будь-яку точку O простору проведемо пряму OX_1 (рис. 1). Точка K^0 , виходячи з точки O , переміщується вздовж прямої OX_1 та пройде відрізок OK_1 довжиною a . Позначимо цей відрізок символом K^1 . Тоді можна сказати, що повний відрізок складається із двох точок $O=K_0^0$ (початкового) і $A_1=K_1^0$ (кінцевого) положень рухомої точки K^0 та множини точок K^1 , що розташовані між цими двома. Формула складу «за-метеного» відрізка має вигляд: $\ddot{K}^1 = K^1 + 2 \cdot K^0$ (відкритий відрізок та 2 його кінця – точки).

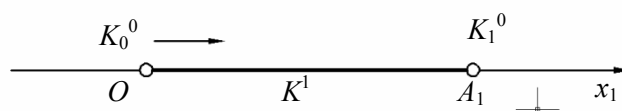


Рис. 1. Схема формування відрізка шляхом переміщення точки K^0

Для отримання площини (двовимірного об'єкта) проведемо через точку O ще одну пряму OX_2 , перпендикулярну до прямої OX_1 (рис. 2). Тоді рухомий замкнений відрізок \bar{K}^1 довжини a поступово переміщується в напрямі осі OX_2 та при цьому збігаючись у початковому положенні з відрізком OA_1 , який позначимо через \bar{K}_0^1 . Рухомий відрізок \bar{K}^1 , який переміщується на відстань, що також дорівнює a , займе положення $\bar{K}_1^1 = A_2A_{12}$. Кожна точка рухомого відрізка опише при русі відрізок довжиною a та перпендикулярний до осі OX_1 , а весь відрізок \bar{K}^1 «заметений» замкнений квадрат $OA_1A_{12}A_2$ в площині OX_1X_2 . Позначимо цей квадрат через \bar{K}^2 . Формула складу замкненого квадрату буде такою: $\bar{K}^2 = K^2 + 4 \cdot K^1 + 4 \cdot K^0$ (відкритий квадрат, 4 відрізка – сторони та 4 вершини – точки).

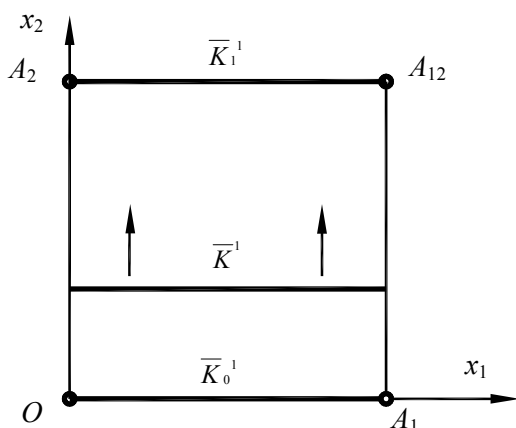


Рис. 2. Формування квадратного відсіку площини

Тривимірний об'єкт (куб) може бути отриманий за попереднім алгоритмом – шляхом переміщення отриманого раніше квадрата \bar{K}_0^2 вздовж третьої осі OX_3 , яка перпендикулярна до площини OX_1X_2 (рис. 3), на відрізок, довжина якого дорівнює a . Кінцеве положення квадрата буде $\bar{K}_1^2 = A_3A_{13}A_{103}A_{23}$. Розділивши отриманий куб на дрібніші геометричні образи отримаємо таку формулу складу куба: $\bar{K}^3 = K^3 + 6 \cdot K^2 + 12 \cdot K^1 + 8 \cdot K^0$, тобто замкнений куб містить в собі відкритий куб, 6 відкритих квадратів (граней), 12 відкритих відрізків (ребер) та 8 точок (вершин), що є одночасно кінцями відрізків та вершинами куба.

Склад кожного із розглянутих образів було отримано прямим підрахунком числа елементів та їх границь. Знайдемо формули складу виходячи із кінематичного способу утворення тіл.

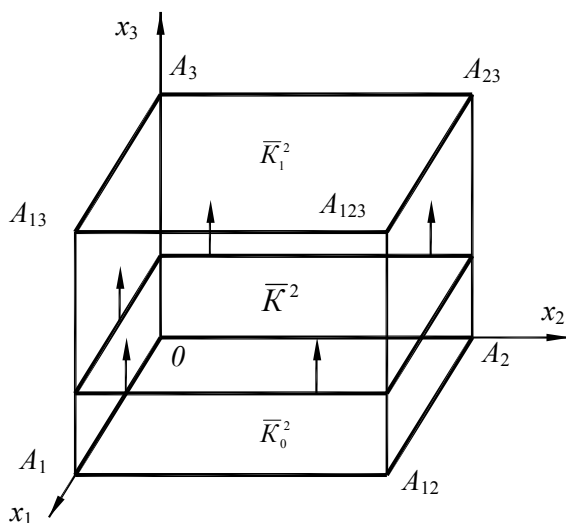


Рис. 3. Формування куба

За аналогією з обчисленням об'єму куба, який дорівнює добутку площі основи на висоту, проведемо добуток квадрату K^2 , який лежить у основі, на довжину відрізка K^1 , що описує кожна точка при переміщенні: $\bar{K}^3 = \bar{K}^2 \cdot \bar{K}^1$.

Якщо використати алгебраїчні правила, то $\bar{K}^2 \cdot \bar{K}^1 = \bar{K}^{2+1} = \bar{K}^3$, що і потрібно було довести. Можна показати, що якщо підставити в цей вираз формули складу квадрата та відрізка, то після перемноження получимо формулу складу куба, що отримано підрахунком та наведено вище.

Виходячи з цього для отримання формули складу квадрату помножимо рухомий відрізок K^1 на відрізок K^1 , який опише кожна точка при переміщенні: $\bar{K}^2 = \bar{K}^1 \cdot \bar{K}^1 = (\bar{K}^1)^2$. Підставляємо цей вираз у попередню формулу, та отримаємо: $\bar{K}^3 = (\bar{K}^1)^2 \bar{K}^1 = (\bar{K}^1)^3$.

Підставимо в отримані вирази формули складу елементів. Для куба: $\bar{K}^3 = \bar{K}^2 \cdot \bar{K}^1 = (K^2 + 4K^1 + 4K^0)(K^1 + 2K^0) = K^3 + 6K^2 + 12K^1 + 8K^0$.

Підставимо в отримані вирази формули складу елементів. Для куба: $\bar{K}^3 = \bar{K}^2 \cdot \bar{K}^1 = (K^2 + 4K^1 + 4K^0)(K^1 + 2K^0) = K^3 + 6K^2 + 12K^1 + 8K^0$.

Для квадрата: $\bar{K}^2 = \bar{K}^1 \cdot \bar{K}^1 = (\bar{K}^1)^2 = (K^1 + 2K^0)^2 = K^2 + 4K^1 + 4K^0$.

За аналогією отримаємо формулу для відрізка:

$$\bar{K}^1 = \bar{K}^0 \cdot \bar{K}^1 = K^0 (K^1 + 2K^0) = K^1 + 2K^0.$$

Потрібно зазначити, що добуток на K^0 рівнозначний добутку на 1.

Виходячи із вище викладеного зробимо узагальнення. Склад побудованого образу є добуток складу рухомого об'єкта на склад відрізка, який опише кожна точка рухомого геометричного об'єкта. Всі формули можуть бути представлені у такому вигляді:

$$\begin{aligned}\bar{K}^0 &= (\bar{K}^1)^0 = K^0; \quad \bar{K}^1 = (\bar{K}^1)^1 = K^1 + 2K^0; \\ \bar{K}^2 &= (\bar{K}^1)^2 = (K^1 + 2K^0)^2; \quad \bar{K}^3 = (\bar{K}^1)^3 = (K^1 + 2K^0)^3.\end{aligned}$$

Проведемо аналогію для чотиривимірного простору. Абстрактно приймаємо, що існує пряма OX_4 , яка перпендикулярна до простору $OX_1X_2X_3$.

По аналогії до утворення тривимірного кубу візьмемо куб \bar{K}^3 з довжиною ребра a та будемо переміщувати його поступово в напрямі осі OX_4 із положення \bar{K}_0^3 до положення \bar{K}_1^3 таким чином, щоб кожна точка рухомого куба \bar{K}^3 під час його руху замінала відрізок довжиною a , який паралельний осі OX_4 . Куб \bar{K}^3 заметає при цьому чотиривимірне тіло \bar{K}^4 , яке називають чотиривимірним кубом або тессерактом. Тіло, отримане таким чином, зображено на рис. 4 в звичній для нас паралельній проекції.

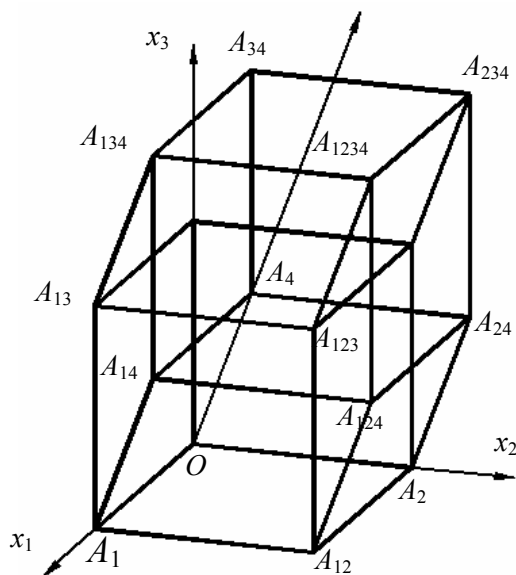


Рис. 4. Наочне зображення чотиривимірного куба

Формула складу такого куба виводиться за аналогією до тривимірного куба та має такий вигляд:

$$\bar{K}^4 = \bar{K}^3 \cdot \bar{K}^1 = (\bar{K}^1)^3 \cdot \bar{K}^1 = (\bar{K}^1)^4 = (K^1 + 2 \cdot K^0)^4.$$

Розкривши дужки отримаємо:

$$\bar{K}^4 = K^4 + 8 \cdot K^3 + 24 \cdot K^2 + 32 \cdot K^1 + 16 \cdot K^0,$$

тобто чотиривимірний куб складається із відкритого куба, 8 відкритих тривимірних кубів, 24 відкритих граней, 32 відкритих ребер та 16 точок або вершин.

Якщо зробити узагальнення, то можна стверджувати, що склад побудованого таким чином геометричного образу уявляє собою добуток складу рухомого геометричного образу на склад відрізка, який заметає кожна точка рухомого образу.

Отримані дані щодо формул складу наведених геометричних образів зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Кількісний склад геометричних об'єктів

	Вершини	Ребра	Грані	Куб	Тессеракт-грань
Точка	1				
Відрізок	2	1			
Квадрат	4	4	1		
Куб	8	12	6	1	
Тессеракт 4-D	16	32	24	8	1

Наведені вище рисунки зображують три- та чотиривимірний куби у паралельній проекції. Розглянемо центральну проекцію тривимірного кубу з центром у точці S , що лежить поза ним, та отримаємо проекцію куба на його грань. Таким же чином можна отримати центральну проекцію чотиривимірного кубу. Наочне уявлення описаних центральних проекцій можна представити як три двовимірні площини (рис. 5 а), що розташовані на відстані, яка дорівнює стороні куба. Схематично показано, що у верхній площині знаходиться спостерігач, в другий і третій – однакові квадрати, що є

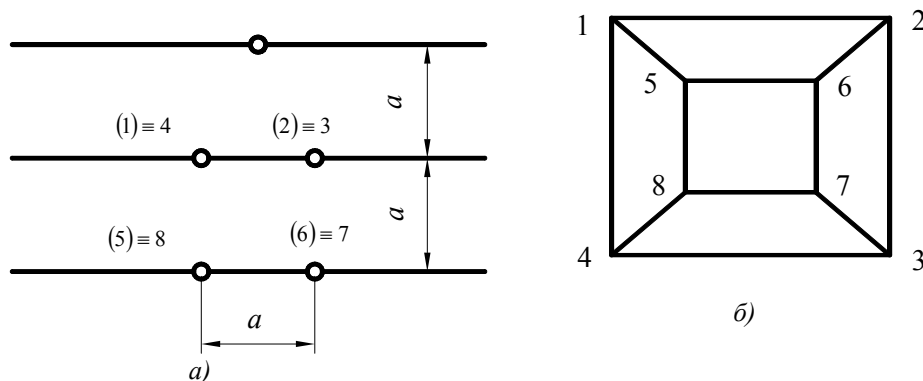


Рис. 5. Проекція тривимірного куба на його грань

гранями куба. Тоді спостерігач бачить картинку, як на рис. 5 б, де квадрати уявляються різними за величиною у зв'язку з віддаленістю від спостерігача.

Для чотиривимірного куба можна провести аналогію, тільки в площинах будуть розташовані не квадрати, а куби. Та спостерігач бачить центральну проекцію чотиривимірного куба на його тривимірну грань (рис. 6).

Такі ж побудови можна узагальнити на простори вищого числа вимірів та побудувати абстрактно n -вимірний куб. Склад такого n -вимірного замкненого кубу буде обчислюватися за формулою [1]:

$\bar{K}^n = (\bar{K}^1)^n = (K^1 + 2 \cdot K^0)^n$. Якщо розкрити дужки та виконати необхідні перетворення, то отримаємо:

$$\bar{K}^n = K^n + 2 \cdot C_n^1 K^{n-1} + 2^n C_n^2 K^{n-2} + \dots + 2^{n-2} C_n^{n-2} K^2 + 2^{n-1} C_n^{n-1} K^1 + 2^n K^0.$$

Перетворення дозволить отримати: $\bar{K}^n = \sum_{s=0}^n 2^s \cdot C_n^s \cdot K^{n-s}$, де $s = 0, 1, 2, \dots, n$; C_n^s – біноміальні коефіцієнти, тобто

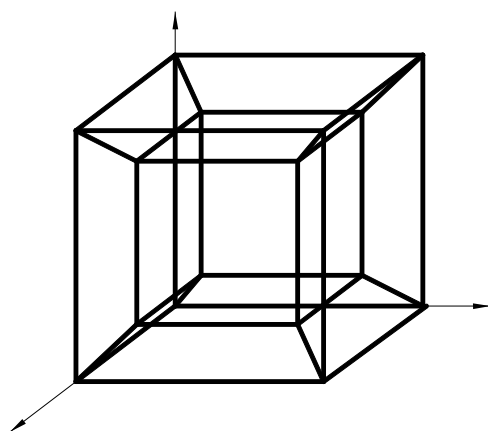


Рис. 6. Центральна проекція чотиривимірного куба на його грань

$$C_n^s = \frac{n \cdot (n-1) \cdot \dots \cdot (n-s+1)}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot s}; \quad C_n^0 = 1.$$

Таким чином у складі n -вимірного замкненого кубу існують 2^n вершин, $2^{n-1} C_n^1 = n \cdot 2^{n-1}$ ребер,

$2^{n-2} C_n^2 = 2^{n-2} \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2}$ квадратних граней,

$2^{n-3} C_n^3 = 2^{n-3} \frac{n(n-1) \cdot (n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3}$ тривимірних кубічних

граней \bar{K}^3 тощо, і, нарешті, $2n$ граней, що уявляють собою $(n-1)$ вимірні куби \bar{K}^{n-1} . Всі грані \bar{K}^m , які мають однакові розмірності, рівні між собою.

Таким чином, представлений метод утворення об'єктів різної розмірності кінематичним способом дає змогу наочно уявити багатовимірні тілата провести математичну аналогію для визначення їх складових примітивів. Дослідження формул складу елементів для геометричних образів із просторів низьких розмірностей дали змогу зробити узагальнення та отримати формулу складу для елементів n -вимірних кубів.

Список використаних джерел

1. Гордецкий Д. З. Популярное введение в многомерную геометрию / Д. З. Гордецкий, А. С. Лейбин. — Харьков : ХАУ, 1964. — 193 с.
2. Прокофьева И. Г. Начертательная геометрия – трехмерная и многомерная / И. Г. Прокофьева, С. Г. Демидов // Universum: технические науки. — Вып. № 3–4 (25). — 2016.
3. Федоров Е. С. Графические операции с четырьмя независимыми переменными // Изв. Российск. Акад. Наук. Сер. 4. — 1918. — № 7. — С. 615—624.
4. Филиппов П. В. Начертательная геометрия многомерного пространства и ее приложения. — Л., 1979. — 280 с.

Elena BIDNICHENKO

Nikolaev

THE RESEARCH OF THE N -DIMENSIONAL GEOMETRIC IMAGES

The article presents materials on the formation of some geometric objects by kinematic method. The analysis of the formula of the constituent elements by decomposing them into simpler geometrical images. The formulas for the composition of zero-, one-, two-, three- and four-dimensional objects, the synthesis of four-dimensional space is carried out, the formula for n -dimensional spaces is shown.

Key words: multidimensional space, point, line, polygon, polyhedron, a four-dimensional cube, constituent elements formula.

Елена БИДНИЧЕНКО

г. Николаев

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА N -МЕРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ

В статье представлены материалы по формированию некоторых геометрических объектов кинематическим способом. Проведен анализ формул состава тел путем декомпозиции их на более простые геометрические образы. Получены формулы состава для нуль-, одно-, двух-, трех- и четырехмерных объектов, проведено обобщение для четырехмерного пространства, приведена формула для n -мерных пространств.

Ключевые слова: многомерные пространства, точка, отрезок, многоугольник, многогранник, четырехмерный куб, формулы состава.

Стаття надійшла до редколегії 3.10.2016

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛОСКИХ КРИВИХ СТОСОВНО ДО ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ КОРПУСУ СУДНА

У статті розглядається новий підхід до моделювання плоских кривих із застосуванням лінійної залежності розподілу кривини від довжини дуги. Крива, що моделюється задається в табличній формі. В початковій і кінцевій точках кривої визначаються кути нахилу дотичних. Розроблено програму розрахунків і візуалізації отриманих результатів на ПЕОМ.

Ключові слова: плоска крива, комп'ютерне моделювання, лінійна залежність розподілу кривини, довжина дуги.

Широке застосування кривих ліній в науці і техніці, поява нових сфер їх застосування спонукають фахівців з прикладної геометрії розробляти нові підходи до моделювання ліній, адаптуючи їх до потреб практики. Особливої важливості питання моделювання ліній набуває при проектуванні теоретичного креслення корпусу судна. Криві, що описують ватерлінії, шпангоути і батокси та отримані інтерполяцією опорних точок, мають бути інваріантними по відношенню до повороту системи координат і залежати тільки від розташування опорних точок. У той же час крива та її перша похідна мають бути неперервними, а кривина лінії, отриманої в результаті інтерполяції, має в найбільшому ступені визначатися лінійною залежністю від її довжини та бути неперервною функцією. Таким чином, при моделюванні ліній теоретичного креслення корпусу судна на базі сукупності опорних точок необхідно забезпечувати другий порядок гладкості.

Розглядаючи відомі в математиці криві, можна прийти до висновку, що поставленим вище умовам може задовольняти тільки модифікована клотоїда.

У практиці суднобудування при побудові теоретичного креслення корпусу судна часто використовують так звані прості інтерполятори [7], які задовольняють умовам неперервності в опорних точках функції та її першої похідної. При цьому застосовуються параметричні поліноми степеня не нижче третього. Недоліком поліноміального подання ліній корпусу судна є наявність відносного екстремального значення кривини кривої між двома опорними точками. Зокрема, для кривих, що мають малу зміну кривини, характерно місцеве «випинання» у випадку, коли опорні точки знаходяться недостатньо близько одна до одної.

Останнім часом при моделюванні кривих почали застосовуватися їх параметричні рівняння, в яких параметром виступає довжина дуги кривої. Це означає, що для таких кривих можуть бути знайдені їх рівняння в функції довжини дуги. Але, на жаль, подібних кривих дуже мало і не всі вони придатні до практичного застосування, тому автори робіт [1–6, 8–10] при моделюванні кривих, що відповідають певним умовам, змушені приймати до розгляду лінійні, квадратичні, кубічні, синусоїдальні та інші залежності розподілу кривини від довжини дуги та визначати невідомі коефіцієнти цих залежностей в процесі моделювання кривої, яка відповідає заданим умовам проектування того чи іншого об'єкту або виробу.

Автори робіт [2, 4, 10] пропонують моделювати криві із застосуванням лінійних законів розподілу їх кривини, які беруть їх у вигляді:

$$k = as + b,$$

де s – довжина дуги кривої, a і b – невідомі коефіцієнти.

Ці коефіцієнти визначаються за умови, що відомі початкова і кінцева точки кривої та кути нахилу в них дотичних.

Метою роботи є моделювання та дослідження інтерполяційних плоских кривих ліній, які задаються певною сукупністю опорних точок, забезпечують в точках стикування другий порядок гладкості, а кривина кривої лінійно залежить від довжини дуги. Задача розв'язується за умови, що задані кути нахилу дотичних в початковій і кінцевій точках кривої. Змодельовані криві мають бути придатними для побудови теоретичного креслення корпусу судна.

Побудуємо довільну криву, задану деякою послідовністю точок і відомими кутами нахилу дотичних в першій та останній точках. На рис. 1 показані вихідні точки, з'єднані ламаною лінією, яку

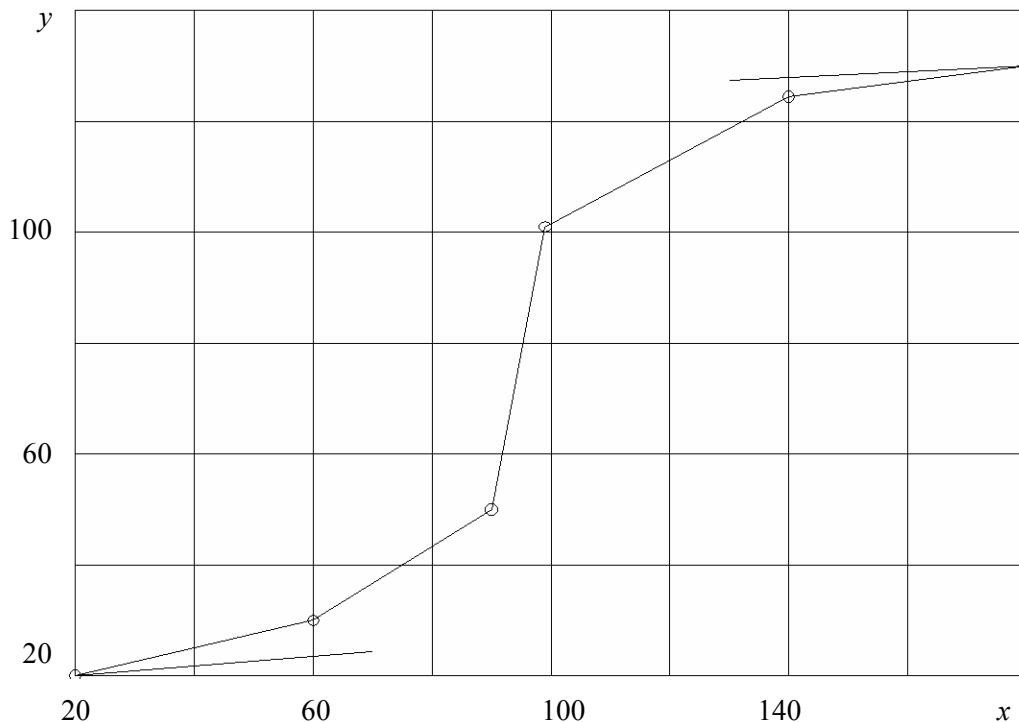


Рис. 1. Вихідні дані для побудови інтерполяційної кривої

можна розглядати як інтерполяційну криву нульового порядку гладкості. В початковій і кінцевій точках проведені відрізки прямих ліній, кути нахилу яких задаються з вихідними даними. Необхідно за заданих вихідних даних побудувати інтерполяційну криву другого порядку гладкості.

Розглянемо ділянку кривої, яка визначається двома послідовними опорними точками x_i, y_i і x_{i+1}, y_{i+1} . Дотичні до кривої в цих точках мають кути нахилу до осі x , відповідно, α_i і α_{i+1} .

Запишемо рівняння клотоїди в наступному вигляді

$$\begin{aligned} x(s) &= x_i + b_i \int_{-1}^s \cos \Phi_i(s) ds, \\ y(s) &= y_i + b_i \int_{-1}^s \sin \Phi_i(s) ds, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\Phi_i(s) = \varphi_i - \psi_i s + \gamma_i (s^2 - 1)$.

При цьому кути φ_i і ψ_i визначаються за виразами

$$\begin{aligned} \varphi_i &= \frac{1}{2}(\alpha_i + \alpha_{i+1}); \\ \psi_i &= \frac{1}{2}(\alpha_i - \alpha_{i+1}), \end{aligned}$$

тобто вони залежать від кутів нахилу дотичних в суміжних точках.

Для побудови ділянки кривої між точками x_i, y_i і x_{i+1}, y_{i+1} необхідно знайти константи b_i і γ_i . Для визначення цих констант розглянемо ділянку кривої в координатній системі \bar{X}, \bar{Y} з початком координат в точці x_i, y_i , яка обертається на кут η_i , який є кутом нахилу до осі абсцис відрізка прямої, що з'єднує i -у та $(i+1)$ -у точки модельованої кривої.

Можна легко побачити, що при $s = 1$ мають виконуватися наступні умови:

$$\bar{y}(1) = 0 = b_i \int_{-1}^1 \cos(\Phi_i(s) - \eta_i) ds; \quad (2)$$

$$\bar{x}(1) = d_i = b_i \int_{-1}^1 \sin(\Phi_i(s) - \eta_i) ds, \quad (3)$$

де $d_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$.

Оскільки d_i не дорівнює нулю, то і b_i не може дорівнювати нулю. В зв'язку з цим рівняння (2) може бути застосованим для ітеративного визначення константи η_i . Константа b_i визначається із рівняння (3). Сучасна комп'ютерна техніка дозволяє числовими методами визначати константи η_i і b_i без особливих проблем.

Для розрахунку за виразами (1) декартових координат точок кривої необхідно знати кути α_i і α_{i+1} нахилу дотичних в опорних точках. Ці кути також будемо визначати числовим методом. За перше наближення цих кутів, що дозволить розпочати процес їх пошуку, пропонується прийняти кути, які дорівнюють кутам нахилу відрізків прямих, що з'єднують попередню і наступну опорні точки (рис. 2). На цьому рисунку видно, що дотичні до майбутньої кривої в опорних точках розташовані паралельно відрізкам прямих, які з'єднують $(i-1)$ -у та $(i+1)$ -у опорні точки.

На рис. 3. показано інтерполяційну криву, побудовану із застосуванням кутів нахилу дотичних за вище означеною схемою. Ці результати можна розглядати, як інтерполяційну криву вихідного наближення. На перший погляд ця крива має прийнятний характер. Але при більш ретельному розгляді можна прийти до висновків, що бажано поліпшити характер проходження кривої на першій, середній та останній її ділянках. Це є наслідком того, що моделювання кривої відбувалося без прийняття до

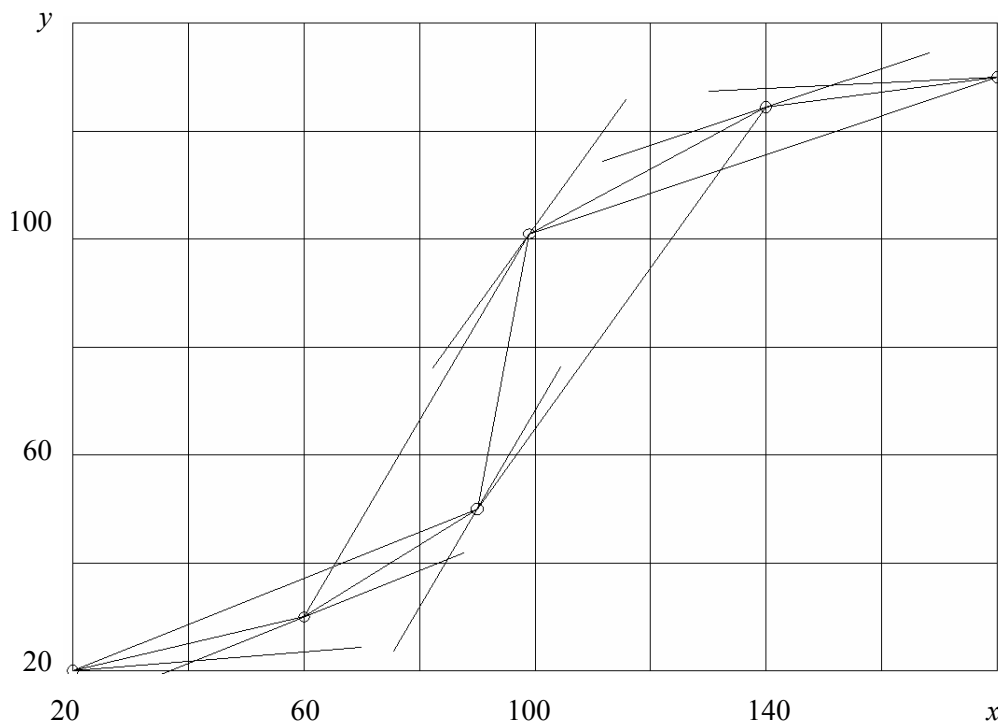


Рис. 2. До визначення кутів нахилу дотичних в проміжних точках

уваги того факту, що в опорних точках ця диференціальна характеристика, розрахована наприкінці попередньої і на початку наступної ділянки має бути однаковою.

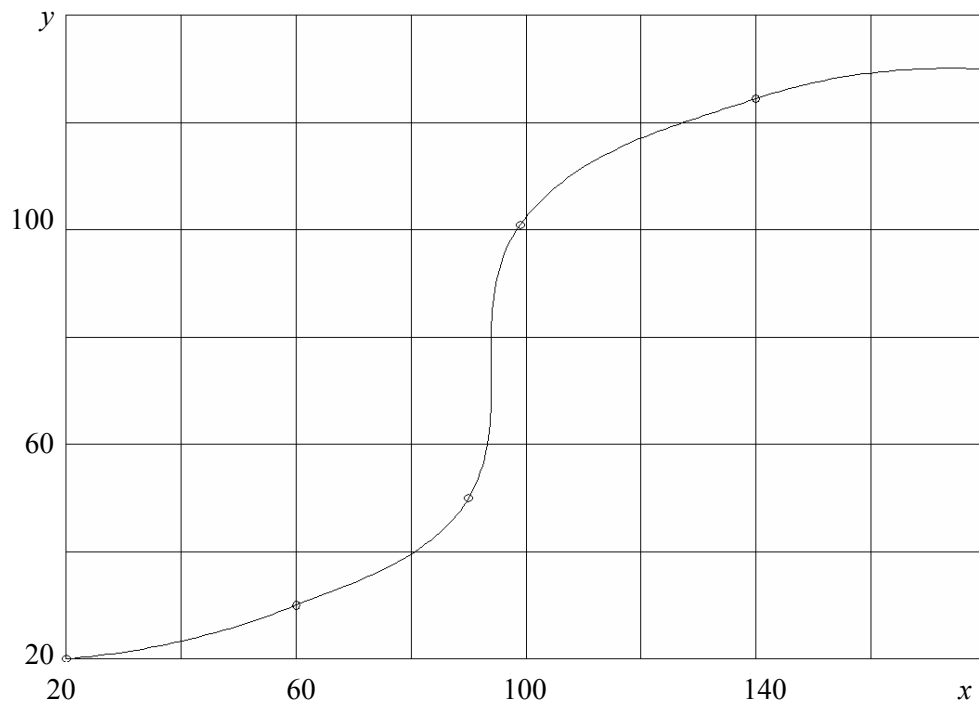


Рис. 3. Інтерполяційна крива першого наближення

Для параметричної кривої, заданої рівняннями (1), кривина може бути визначена залежністю

$$k_i(s) = \frac{x'(s)y''(s) - y'(s)x''(s)}{(x'^2 + y'^2)^{3/2}} = \frac{2\gamma_i s - \psi_i}{b_i}. \quad (4)$$

Можна легко побачити, що кривина кривої, яка будується за залежностями (1), є лінійною функцією від параметра s . Дійсно, довжина кривої знаходиться за виразом

$$S_i(s) = \int_{-1}^s \sqrt{x'^2 + y'^2} ds = (1+s)b_i. \quad (5)$$

З виразів (4) і (5) випливає, що довжина кривої є лінійною функцією параметра s , і в той же час, кривина збільшується або зменшується пропорційно її довжині.

В табл. 1 наведені значення кривини інтерполяційної кривої вихідного наближення в проміжних опорних точках, які визначені за залежністю (4).

Таблиця 1

Значення кривини в опорних точках

№ точки	$k_i(s=1)$	$k_{i+1}(s=-1)$
1	$7,830416 \times 10^{-3}$	$-6,029317 \times 10^{-3}$
2	$4,208951 \times 10^{-2}$	$4,074901 \times 10^{-2}$
3	$-4,412976 \times 10^{-2}$	$-3,068910 \times 10^{-2}$
4	$4,279898 \times 10^{-3}$	$-1,108483 \times 10^{-3}$

Примітка. В табл. 1 пронумеровані тільки проміжні опорні точки. Початкова опорна точка має нульовий номер.

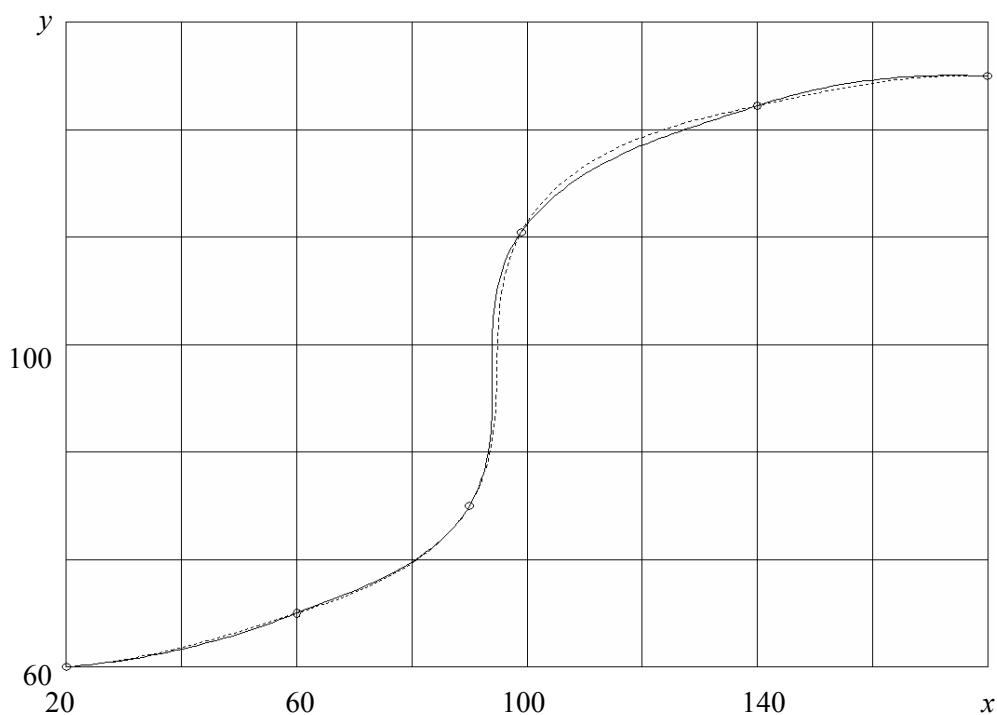


Рис. 4. Результати моделювання інтерполяційної кривої

З аналізу табл. 1 випливає, що у всіх опорних точках кривина ділянки, розташованої ліворуч від опорної точки, не дорівнює кривині ділянки, розташованої праворуч по відношенню до опорної точки. Це означає, що інтерполяційна вихідного наближення фактично є кривою з першим порядком гладкості у вузлових точках, в яких досягається рівність значень функцій та їх похідних, а кривина терпить розрив.

Досягнення рівності кривини зліва і справа від опорних точок реалізуємо шляхом мінімізації функціоналу наступного вигляду

$$f = \sum_{i=1}^n \left(k_{i(s=1)} - k_{i+1(s=-1)} \right)^2, \quad (6)$$

де $n = 4$ (у випадку, що розглядається).

В задачі мінімізації записаного функціоналу за параметри, які варіюються, приймаються кути нахилу дотичних у вузлових точках, з вказаним вище їх першим наближенням.

Для мінімізації функціоналу (6) застосовано вискоєфективний алгоритм, запропонований Хуком-Дживсом [11] і розроблений для мінімізації функції багатьох змінних.

Розв'язання оптимізаційної задачі, пов'язаної з визначенням кутів нахилу дотичних в опорних точках, дозволило вирівняти в цих точках значення кривини, взятих на ділянках зліва і справа від опорних точок (табл. 2).

Таблиця 2

Оптимальні значення кривини в опорних точках

№ точки	$k_i(s=1)$	$k_{i+1}(s=-1)$
1	$1,608085 \times 10^{-3}$	$1,608085 \times 10^{-3}$
2	$3,721636 \times 10^{-2}$	$3,721636 \times 10^{-2}$
3	$-3,549732 \times 10^{-2}$	$-3,549730 \times 10^{-2}$
4	$-7,863768 \times 10^{-5}$	$-7,863050 \times 10^{-5}$

Як впливає з розгляду цієї таблиці, значення кривини у вузлових точках узгоджується з достатньо високим ступенем точності. Це також підтверджують графічні результати, представлені на рис. 4,

на якому для порівняння показані вихідна інтерполяційна крива (суцільна лінія) та крива, побудована з оптимальними значеннями кутів нахилу дотичних в опорних точках (штрихова лінія).

Завдяки моделюванню інтерполяційної кривої з оптимальними значеннями кутів нахилу дотичних в опорних точках характер її проходження суттєво поліпшився.

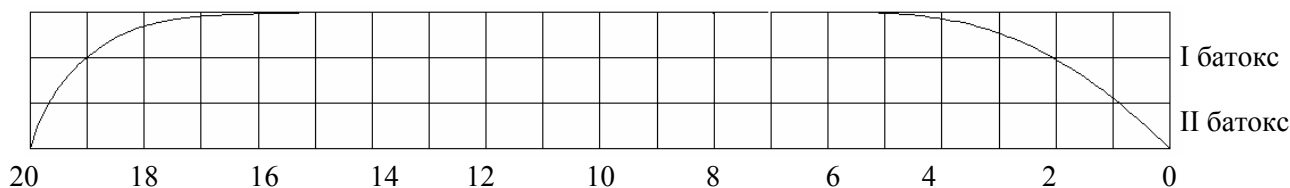


Рис. 5. Фрагмент теоретичного креслення корпусу судна

На рис. 5 з метою підтвердження можливості застосування розробленого методу моделювання інтерполяційної кривої до побудови теоретичного креслення корпусу судна наведено його фрагмент, на якому зображено одну з ватерліній вантажного судна. Сітка креслення формується проекцією діаметральної площини (ДП) на основну площину, дотичну днища корпусу, двома батоксами та двадцятьма одним теоретичним шпангоутом.

Практичною реалізацією доведена можливість моделювання кривих ліній із застосуванням удосконаленого методу визначення лінійних залежностей кривини від довжини дуги. Метод може бути застосованим при моделюванні корабельних кривих. Подальші зусилля в справі моделювання інтерполяційних ліній можуть бути спрямовані на забезпечення застосування законів розподілу кривини більш високих степенів.

Список використаних джерел

1. Анпілогова В. О. Моделювання кривих ліній за допомогою управляючих ламаних, що визначають їх натуральні рівняння [Текст] / В. О. Анпілогова, С. І. Ботвіновська, А. Г. Анпілогов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К. : КДТУБА, 2003. — Вип. 72. — С. 124—129.
2. Борисенко В. Д. Геометричне моделювання плоских кривих із застосуванням лінійного елемента кривини [Текст] / В. Д. Борисенко, С. А. Устенко, В. Є. Спіцин // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К. : КНУБА, 2006. — Вип. 76. — С. 43—49.
3. Борисенко В. Д. Геометричне моделювання плоского криволінійного обводу за заданою кривою [Текст] / В. Д. Борисенко, С. А. Устенко, В. Є. Спіцин // Геометричне та комп'ютерне моделювання. — Харків : ХДУХТ, 2004. — Вип. 5. — С. 30—34.
4. Борисенко В. Д. Моделювання складених кривих із застосуванням лінійних законів розподілу їх кривини [Текст] / В. Д. Борисенко, С. А. Устенко, І. В. Устенко // Наукові праці: Науково-методичний журнал. — Вип. 254. Т. 266. Комп'ютерні технології. — Миколаїв : Видавництво ЧДУ ім. Петра Могили, 2015. — С. 6—10.
5. Борисенко В. Д. Моделювання плоских кривих у натуральній параметризації [Електронний ресурс] / В. Д. Борисенко, С. А. Устенко // Розвиток інформаційної діяльності в галузі технічних і фізико-математичних наук: Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції (м. Миколаїв, 22–24 вересня 2016 р.). — Миколаїв : МНУ імені В. О. Сухомлинського, 2016. — С. 110—113.
6. Захарова Т. М. Конструювання плоских і просторових кривих у функції натурального параметра [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01 Прикладна геометрія, інженерна графіка / Тетяна Миколаївна Захарова; КНУБА — К., 2014. — 24 с.
7. Ковалев В. А. Новые методы автоматизации проектирования судовой поверхности [Текст] / В. А. Ковалев. — Л. : Судостроение, 1982. — 212 с.
8. Пилипака С. Ф. Графо-аналитический метод приближенного построения кривой по заданному натуральному уравнению [Текст] / С. Ф. Пилипака // Прикладная геометрия и инженерная графика. — К. : Будівельник, 1989. — Вип. 48. — С. 44—45.
9. Устенко С. А. Геометрична теорія моделювання криволінійних форм лопаткових апаратів турбомашин з оптимізацією їх параметрів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01 Прикладна геометрія, інженерна графіка / Сергій Анатолійович Устенко; КНУБА. — К., 2013. — 40 с.
10. Adams J. A. The intrinsic method for curve definition [Text] / J. A. Adams // Computer Aided Design. — 1975. — Vol. 7, No 4. — P. 243—249.
11. Hooke R. Direct search solution of numerical and statistical problems [Text] / R. Hooke, T. A. Jeeves // Journal of the ACM. — 1961. — Vol. 8, No 2. — P. 212—229.

Валерий БОРИСЕНКО, Ирина УСТЕНКО
г. Николаев

COMPUTER SIMULATION OF PLANE CURVES IN RESPECT OF THEORETICAL DRAWING OF THE SHIP'S HULL

A new approach to modeling of planar curves with linear curvature distribution in dependence of the arc length is discussed. The simulated curve is given in tabular form. At the start and end points of curve the angles of tangents are specified. A computer code of calculation and visualization of the results on a PC was developed.

Key words: plane curve, computer simulation, the linear dependence of the curvature distribution, arc length.

Valerii BORYSENKO, Iryna USTENKO
Mykolaiv

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ КРИВЫХ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЕОРЕТИЧЕСКОМУ ЧЕРТЕЖУ КОРПУСА СУДНА

В статье рассматривается новый подход к моделированию плоских кривых с применением линейной зависимости распределения кривизны от длины дуги. Моделируемая кривая задается в табличной форме. В начальной и конечной точках кривой заданы углы наклона касательных. Разработана программа расчетов и визуализации полученных результатов на ПЭВМ.

Ключевые слова: плоская кривая, компьютерное моделирование, линейная зависимость распределения кривизны, длина дуги.

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2016

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ТОНКИХ ПЛАСТИН З РІЗНИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі досліджується тонка квадратна пластина з різними фізико-механічними характеристиками з вільними краями. Моделювання геометрії та чисельний розрахунок частот та форм вільних коливань пластин виконано методом скінченних елементів, який реалізовано за допомогою комп'ютерної програми FEMAP з розв'язувачем NASTRAN. Проводиться порівняльний аналіз розрахованих власних частот квадратної пластини з частотами, які отримані чисельно та експериментально іншими авторами.

Ключові слова: квадратна пластина, метод скінченних елементів, FEMAP, власні частоти, форми вільних коливань.

У різних галузях сучасної техніки пластини різноманітних форм є найбільш поширеними елементами тонкостінних конструкцій. Вони широко застосовуються в будівництві, машинобудуванні, електротехніці і в інших областях техніки. У будівництві це перекриття, робочі майданчики, деякі види фундаментів; в машинобудуванні – елементи технологічного обладнання; в електроніці – друковані плати з фольгованого склопластику і т. п.

При проектуванні і будівництві різних інженерних споруд необхідно проводити розрахунок несучих елементів конструкцій на випадок дії різноманітних раптових динамічних навантажень. Тому, вивчення динамічної поведінки елементів інженерних споруд з урахуванням властивостей матеріалу і впливу навколишнього середовища при динамічному навантаженні є актуальною проблемою. У зв'язку з цим є необхідним розробити чисельний підхід до визначення частот та форм власних коливань, а також підхід до моделювання коливальних процесів в пластинках різної форми.

Протягом двох століть коливання прямокутних пластин експериментально відтворювались і класифікувались у великій кількості робіт, детальний огляд деяких публікацій наведено в роботі [2]. Однією з перших робіт, яка розглядається як класична задача про коливання тонких ізотропних прямокутних пластин з вільними краями є трактат Хладні з акустики [4]. Чисельний розрахунок частот і форм вільних коливань квадратної пластини варіаційним методом Рітца вперше представлено в [6]. В статті В. В. Мелешка і С. О. Папкова [2] розглянуто класичну задачу коливань прямокутної пластини та проводиться порівняння теоретичних і експериментальних даних. Наше дослідження спрямоване на розрахунок квадратної пластини розглянутої в [2], порівнянню отриманих результатів та поширенню запропонованого чисельного підходу на задачі по визначенню частот та форм вільних коливань пластин іншої форми з вільними краями.

Моделювання та чисельний розрахунок проводилися методом скінченних елементів (МСЕ) реалізованим на ліцензійному програмному засобі Femap з розв'язувачем NX Nastran. Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням апробованих чисельних методів і критерію практичної збіжності; узгодженням чисельних результатів з експериментальними; чисельними розв'язками тестових задач.

Основна ідея методу скінченних елементів полягає в тому, що область визначення неперервної величини розбивається на скінчене число малих областей – скінченних елементів. Ці елементи в сукупності апроксимують форму області.

Рівняння динаміки для МСЕ можна отримати, якщо розглянути рівняння руху механічної системи зі скінченною кількістю ступенів вільності, яка описується системою рівнянь Лагранжа II роду [3].

Дане рівняння руху для пластини при її скінченоелементній апроксимації з урахуванням відсутності зовнішніх сил ($F(t)=0$) прийме вигляд:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\lambda}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial \lambda_i} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \lambda_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Використовуючи дискретну форму функціоналу потенціальної та кінетичної енергії

$$\Pi = \frac{1}{2} \{\lambda\}_i^T K_i \{\lambda\}_i, \quad T = \frac{1}{2} \{\dot{\lambda}\}_i^T M_i \{\dot{\lambda}\}_i,$$

з рівняння Лагранжа (1) отримаємо рівняння руху оболонки при відсутності демпфування:

$$[M] \{\ddot{\lambda}\} + [K] \{\lambda\} = \{0\}. \quad (2)$$

Розв'язок рівняння (1) можна шукати у вигляді

$$\{\lambda\} = \{A\} \cos(\omega t + \beta), \quad (3)$$

де $\{A\}$ – вектор амплітудних значень вузлових переміщень, що визначають форму власних коливань; ω – циклічна частота, β – фаза коливань. Після прямої підстановки (3) у (2) та скорочення на $\cos(\omega t + \beta)$ отримаємо систему алгебраїчних рівнянь:

$$(-\omega^2 [M] + [K]) \{A\} = \{0\}. \quad (4)$$

У цієї системи ненульові значення компонентів $\{A\}$ можливі лише при умові, що

$$\det([K] - \omega^2 [M]) = 0. \quad (5)$$

Якщо квадратні матриці $[M]$ та $[K]$ – додатньо визначені (звичайно для задачі лінійної пружності), то рівняння (5) має N додатних розв'язків – власних частот ω_k , причому можливі парні значення (тут N – кількість невідомих у системі алгебраїчних рівнянь (4)).

Маючи N значень власних частот ω_k , розв'язок системи (2) можна шукати у вигляді лінійної комбінації з N виразів (3):

$$\{\lambda\} = \sum_{k=1}^N \{A_k\} \cos(\omega_k t + \beta_k). \quad (6)$$

Для визначення частот та форм вільних коливань, якщо дисипація енергії та демпфування не враховується, доцільно використовувати як основний, метод Ланцоша (Lanczos), що потребує менших ресурсів (часу обчислень і вільної пам'яті на жорсткому диску) порівняно з іншими методами [3].

Детальніше ознайомитися з методикою визначення частот та форм вільних коливань методом скінченних елементів реалізованого на програмному засобі FEMAP можна в роботі [1].

За допомогою FEMAP була побудована геометрія прямокутної пластинки постійної товщини $d = 1$ мм розмірами $a = 80$ мм та $b = 80$ мм. Модель жорстко закріплювалась в центрі мас. В якості ізотропного матеріалу вибирався алюміній (модуль Юнга $E = 71$ ГПа, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,33$, густина $\rho = 2710$ кг/м³). Така геометрія і матеріал були вибрані у відповідності з геометрією і матеріалом пластинки, яку досліджував Мелешко та Папков в роботі [2]. Розбивка проводилась *plate*-елементами постійної товщини розмірами 1×1 мм і вміщує 6561 вузлів та 6400 прямокутних елементів (рис. 1). За допомогою вищеописаної методики досліджувався спектр резонансних частот і форми коливань прямокутної пластинки постійної товщини.

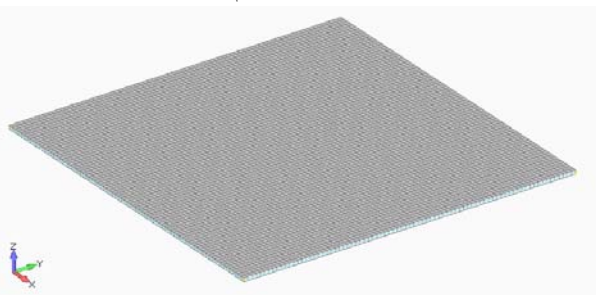


Рис. 1. Скінченноелементна модель досліджуваної пластинки

Значення власних частих частот, отриманих за допомогою програмного забезпечення FEMAP з розв'язувачем Nastran, добре узгоджуються із результатами, отриманими іншими авторами, а саме: на основі оптичного методу голографічної інтерферометрії (AF-ESPI) [5], на основі методу скінченних елементів (FEM) і згідно з алгоритмом розробленим Мелешко та Папковим (Т). У табл. 1 представлено порівняння перших п'яти власних частот, отриманих трьома зазначеними способами і чисельно розрахованих в даній роботі.

Таблиця 1

Частоти вільних коливань отримані різними авторами

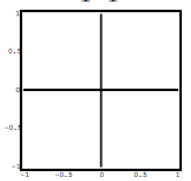
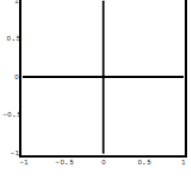
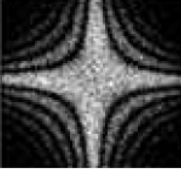
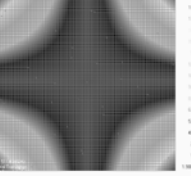
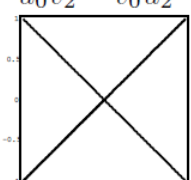
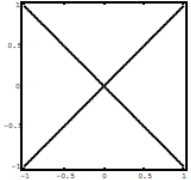
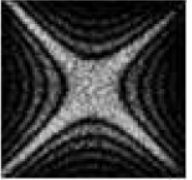
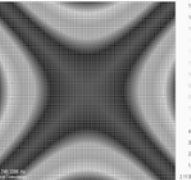
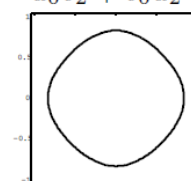
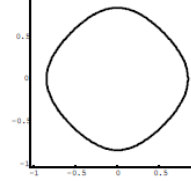
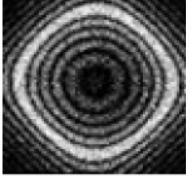
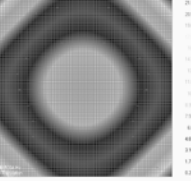
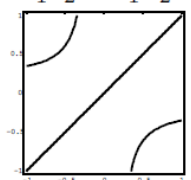
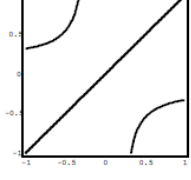

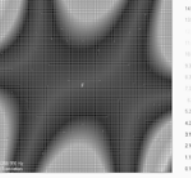
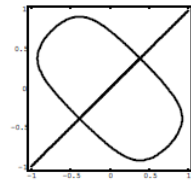
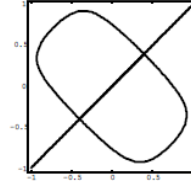
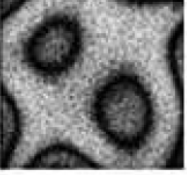
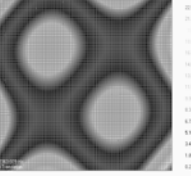
Власна частота, Гц					
N	1	2	3	4	5
AF-ESPI	494	735	890	1271	2330
FEM	510	745	945	1324	2357
Т	505	738	935	1314	2335
FEMAP	512	748	949	1328	2364

Представлені дані показують гарну відповідність між результатами чисельного моделювання та експериментально знайденими власними частотами.

Деякі форми коливань досліджуваної пластинки визначені за формулами Рітца, експериментально, безпосередньо самі рисунки Хладні та форми отримані за допомогою FEMAP представленні в табл. 2.

Таблиця 2

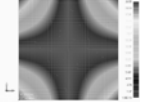
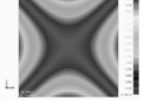
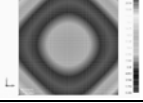
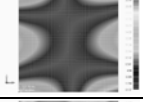
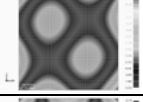
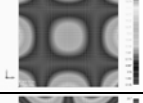
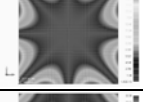
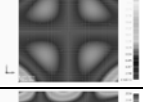
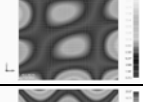
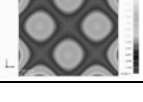
Форми вільних коливань отримані різними авторами

	Форми за Рітцом	Рисунки Хладні	Експеримент	FEMAP
1A	$u_1 v_1$ 			
2S	$u_0 v_2 - v_0 u_2$ 			
3S	$u_0 v_2 + v_0 u_2$ 			
4SA	$u_1 v_2 - v_1 u_2$ 			
5SA	$u_0 v_3 - v_0 u_3$ 			

Також проводився розрахунок на власні частоти прямокутні пластини вибраної геометрії при інших фізико-механічних параметрах. В якості матеріалів, крім алюмінію, вибирались сталь ($E = 212 \text{ ГПа}$, $\nu = 0,3$, $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$) і мідь ($E = 110 \text{ ГПа}$, $\nu = 0,35$, $\rho = 8920 \text{ кг/м}^3$). Розраховані частоти наведенні в табл. 3.

Таблиця 3

Частоти і форми вільних коливань квадратної пластини при різних фізико-механічних параметрах

n	$f_{\text{алюм.}}, \text{ Гц}$	$f_{\text{сталь}}, \text{ Гц}$	$f_{\text{мідь}}, \text{ Гц}$	Форми коливань
1A	512	525	349	
2S	748	767	511	
3S	949	964	658	
4SA	1328	1359	908	
5SA	2364	2409	1631	
6S	2428	2484	1663	
7A	2637	2700	1804	
8A	2980	3037	2056	
9SA	4022	4111	2759	
10S	4504	4596	3102	

Проведений чисельний розрахунок частот та форм вільних коливань квадратної пластини з вільними краями з різних матеріалів.

Отримані чисельні результати добре узгоджуються з результатами отриманими чисельно та експериментально іншими авторами, що дає змогу зробити висновок про ефективність запропонованого чисельного підходу.

Для аналізу впливу характеристик матеріалу на динамічні характеристики розглянуто три матеріали (сталь, алюміній і мідь). Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок про те, що частоти вільних коливань при однакових геометричних параметрах пластини із сталі і алюмінію мають незначну відмінність через невелику відмінність швидкості розповсюдження об'ємного розширення, яка залежить від модуля Юнга і густини матеріалу. Частоти для пластини з міді, при ідентичній геометрії, в середньому в 1,46 разів менші відповідних частот оболонок із сталі.

Список використаних джерел

1. Будак В. Д. Определение собственных частот эллиптической оболочки постоянной толщины методом конечных элементов / В. Д. Будак, А. Я. Григоренко, М. Ю. Борисенко, Е. В. Бойчук // Мат. методи та фіз.-мех. поля. — 2014. — 57, № 1. — С. 145—152.
2. Мелешко В. В. Изгибные колебания упругих прямоугольных пластин со свободными краями: от Хладни (1809) и Ритца (1990) до наших дней / В. В. Мелешко, С. О. Папков // Акустичний вісник. — 2009. — 12, № 4. — С. 34—51.
3. Рудаков К. М. FEMAP. Геометричне та скінченно-елементне моделювання конструкцій у MSC. visual Nastran for Windows. Посібник. — К.: НТУУ «КПІ», 2005. — 218 с.
4. Chladni E.-F.-F. Trait'e d'acoustique. — Paris: Courcier, 1809. — 375 p.
5. Ma C.-C., Huang C.-H. Experimental whole-field interferometry for transverse vibration of plates // J. Sound Vib. — 2004. — 271. — P. 493—506.
6. Ritz W. Theorie der Transversalschwingungen einer quadratischen Platte mit freien R'andern // Ann. Physik. — 1909. — 4 Folge, 28. — P. 737—786.

Maxim BORISENKO, Olena BOYCHUK, Irina BORISENKO, Yuriy ROGOVTSOV
Mykolaiv

COMPUTER MODELING OF FREE VIBRATIONS OF THIN PLATES WITH DIFFERENT MATERIALS

In this paper thin square plates with various physical and mechanical properties with the free edges is investigated. Plate geometry modeling and numerical calculations of natural frequencies and free oscillations forms were made by finite element method implemented in FEMAP software with NASTRAN solver. Comparative analysis the calculated natural frequencies of a square plate with frequencies obtained numerically and experimentally by other authors.

Key words: square plate, circular plate, finite element method, FEMAP, natural frequencies, free oscillations forms.

Максим БОРИСЕНКО, Елена БОЙЧУК, Ирина БОРИСЕНКО, Юрий РОГОВЦОВ
г. Николаев

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТОНКИХ ПЛАСТИН С РАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе исследуется тонкая квадратная пластина с разными физико-механическими характеристиками со свободными краями. Моделирование геометрии и численный расчет частот и форм свободных колебаний пластин выполнено методом конечных элементов, который реализован с помощью компьютерной программы FEMAP с решателем NASTRAN. Проводится сравнительный анализ рассчитанных собственных частот квадратной пластины с частотами, которые получены численно и экспериментально другими авторами.

Ключевые слова: квадратная пластина, метод конечных элементов, FEMAP, собственные частоты, формы свободных колебаний.

Стаття надійшла до редколегії 27.09.2016

НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРЕДСТАВЛЕНЬ ПРИКЛАДНИХ ІНТЕРПРЕТОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ У STEP

За матеріалами проведення поглибленого бібліографічного пошуку і опрацювання оригінальних першоджерел (зокрема стандартів та актуальних публікацій англійською мовою) проведено всебічний різноаспектний аналіз методології геометричного моделювання у STEP, за підсумками якого розроблено зручні для застосування табличні та графічні відображення взаємозв'язків різних аспектів геометричного моделювання продукту у STEP. Порівняльна різноаспектна характеристика різних методів геометричного моделювання, унормованих STEP, наведена у вигляді таблиць. Розроблені методичні матеріали сприятимуть опануванню стандартів STEP фахівцями та їхньому застосуванню у практиці проектування.

Ключові слова: STEP, геометричне моделювання, каркасне подання, граничне подання, поверхневе подання, твердотільне подання, B-сплайни, NURBS.

Сучасне високоавтоматизоване виробництво складної наукоємної продукції та її подальша ефективна експлуатація вимагає суцільної безперервної наскрізної інформаційної підтримки усього її життєвого циклу, що вирішується за допомогою сучасних CALS-технологій [1]. Відповідно до цього в Україні виникає гостра проблема опанування та впровадження складного комплексу міжнародної нормативно-технічної документації щодо CALS-технологій. Це повною мірою стосується й сфери геометричного моделювання. Нещодавно в Україні у якості національних стандартів прийняті стандарти ISO, зокрема STEP (англ. *STandard for Exchange of Product model data*) – стандарт обміну даними моделі виробу/продукту між різними системами, що забезпечують його життєвий цикл, який являє собою вельми розвинену, добре структуровану, числену (зараз – понад 400 стандартів) й динамічну серію стандартів 10303 Міжнародної організації зі стандартизації (ISO). Відповідно постає проблема розроблення методичних матеріалів з ефективного застосування стандартів STEP, зокрема у сфері геометричного моделювання.

Метою цієї роботи є створення зручних для застосування табличних та графічних відображень взаємозв'язків різних аспектів геометричного моделювання продукту у STEP на ґрунті всебічного різноаспектного аналізу методології геометричного моделювання, реалізованої у STEP, за матеріалами проведення поглибленого бібліографічного пошуку і опрацювання оригінальних першоджерел (зокрема стандартів та актуальних публікацій англійською мовою – відповідний «Тематичний бібліографічний покажчик» авторів містить 48 таких джерел).

Загальні ресурси для подання геометричної форми у STEP можуть бути класифіковані в наступні 4 категорії [5]:

- інтегровані родові ресурси: для подання спільних форм та структур продукції (сюди входять частини 42, 43 та 44);
- прикладні інтерпретовані конструкції (AIC): методи подання форми визначаються AIC (частини 5XX);
- методологія параметричного проектування: різні методи визначаються в інтегрованих ресурсах (частини 55, 108, 111 та 112);
- інші форми подання взаємопов'язаних частин: вищезазначені форми подання відповідних частин, які включені в загальні ресурси STEP; інша частина, яка з'єднує форми подання методів для промислового виробництва – AP (прикладний протокол).

Чотири вищенаведені категорії структуровані в ієрархію, у якості основи у нижній частині, та більш орієнтовані на додатки у вищих рівнях, як показано на рис. 1.

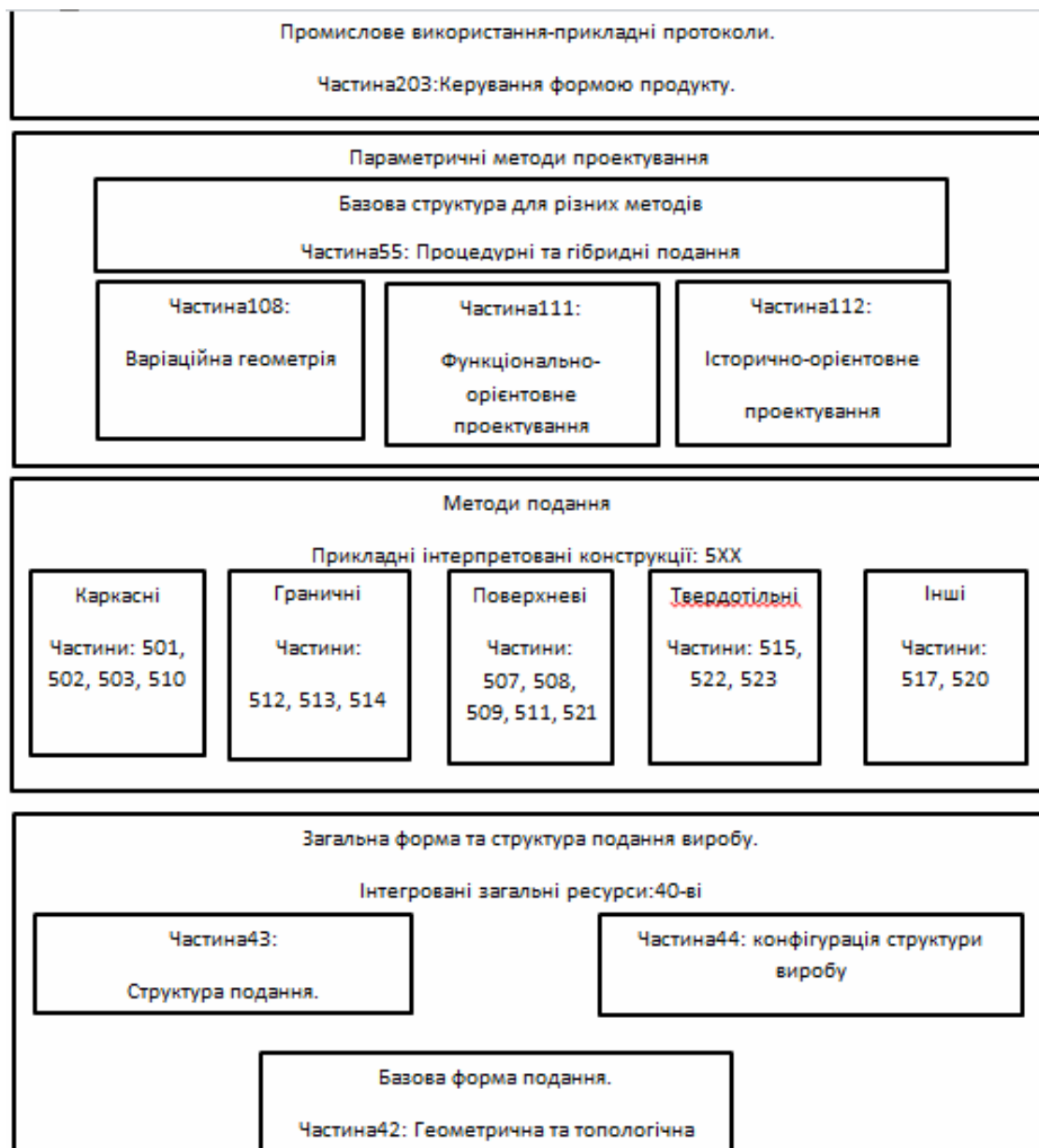


Рис. 1. Методологія геометричного моделювання у STEP

Комплексні загальні ресурси. У STEP єдина модель даних про продукт розроблена для пристосування загальних вимог різних галузей промисловості. Основні ресурси для моделі даних про вибір визначені в частинах, включених в класи інтегрованих ресурсів. Інтегровані ресурси описані в декількох частинах. Їх класифікують на дві групи наступним чином [4]:

- інтегровані загальні ресурси: визначають компоненти програми незалежних концептуальних даних продукції; наприклад, частина 42 визначає контекст незалежного стандарту подання форми об'єкта (частини 41–99);
- інтегровані програмні ресурси: визначають засоби підтримки конкретних угруповань програм, які розширюють загальні ресурси; наприклад, частина 101 включає в себе проектування або використання інженерного проектування та визначає загальні вимоги до передачі даних усіх програм (частини 101–199).

Прикладні інтерпретовані конструкції (AIC). У STEP, якщо два або більше АР мають одні й ті самі вимоги до форми, АІС може бути підкріплена декількома АР. Загальні компоненти форми визначені в прийнятій АІС. АІС включають більше орієнтовно визначених методів подання форми, ніж інтегровані загальні ресурси.

Каркасний метод уявлення подає фігури за допомогою ліній («дроту»), і цей метод – традиційний для подання форми. В АІС є чотири різні способи визначення каркасу [3, 5]:

- каркасне подання форми на основі ребер (ISO 10303-501-2006/AIC 501);
- каркасне подання форми на основі оболонок (ISO 10303-502-2006/AIC 502);
- геометрично обмежене двовимірне каркасне подання (ISO 10303-503-2006/AIC 503);
- геометрично обмежене каркасне подання (ISO 10303-510-2006/AIC 510).

АІС 502 використовує ті ж самі геометричні моделі, що і АІС 501, але АІС 502 використовує більше топологічних елементів, таких як vertex_shell (вершина оболонки), wire_shell (дротяна оболонка) та траєкторій їх вершин та крайових топологічних елементів, таких як edge_cureve (гранична крива), edge_loop (гранична петля), vertex_loop (петля вершини), andvertex_point (точка вершини). Зміст цих чотирьох частин порівнюються в табл. 1.

Таблиця 1

Каркасне подання геометричної форми моделей у STEP

AIC 501	AIC 502	AIC 503	AIC 510
<ul style="list-style-type: none"> – Подання каркасних моделей, описаних графами, що складаються з вершин та ребер, пересічних зі своїми вершинами. – Точки визначені в тривимірному координатному просторі. – Криві, в тому числі В-сплайнові, визначені в тривимірному координатному просторі. – Подання однієї каркасної моделі або груп каркасних моделей 	<ul style="list-style-type: none"> – Подання каркасних моделей за допомогою одного або декількох пов'язаних ребер, які не перетинаються, або перетинаються не їхніми вершинами та ребрами 	<ul style="list-style-type: none"> – Точки, визначені в двовимірному координатному просторі. – Криві обмежені точками та криві визначені в двовимірному координатному просторі. – Криві, які самоперетинаються та визначені в двовимірному координатному просторі. – Групове подання однієї або декількох каркасних моделей 	<ul style="list-style-type: none"> – Структура точок та кривих в тривимірному евклідовому координатному просторі. – Використання каркасної структури для подання форми. – Складання уявлень для формування груп уявлень.

Метод граничного подання являє собою форму, яка використовує граничні елементи, такі як вершини, ребра, грані. Цей метод зазвичай використовується в промисловості. У АІС є три різні граничні методи подання [3, 5]:

- багатогранне граничне подання (ISO 10303-512-2008/AIC 512);
- елементарне граничне подання (ISO 10303-513-2009/AIC 513);
- розширене граничне подання (ISO 10303-514-2007/AIC 514).

Зміст цих трьох частин подано в табл. 2.

Таблиця 2

Граничне подання геометричної форми моделей у STEP

AIC 512	AIC 513	AIC 514
<ul style="list-style-type: none"> – Тривимірна геометрія, В-герс, необмежена геометрія, геометричні перетворення. – Використання топології для об'єднання геометричних об'єктів. 		
<ul style="list-style-type: none"> – В-гер моделі(моделі подані гранично) – Поліпетлі 	<ul style="list-style-type: none"> – Визначення елементарного подання форми В-гер. – Визначення геометрії необмежених кривих та поверхонь, які використовуються в визначені види такої моделі В-гер. – Визначення топологічної структури моделі В-гер. – Елементарні криві. – Елементарні поверхні. – Полілінії 	<ul style="list-style-type: none"> – Моделі В-гер. – В-сплайнові криві та поверхні. – Елементарні криві. – Полілінії, криві, обмежені криві, вигнуті поверхні. – Елементарні поверхні, шаблони поверхні

- геометрично обмежена поверхня (ISO 10303-507-2009/AIC 507);
- багатозв'язані поверхні (ISO 10303-508-2009/AIC 508);
- одностов'язані поверхні (ISO 10303-509-2009/AIC 509);
- топологічно обмежена поверхня (ISO 10303-511-2006/AIC 511);
- підповерхня різноманіття (ISO 10303-521-2008/AIC 521).

Таблица 3

AIC 507		AIC 508		AIC 509		AIC 511		AIC 521	
<ul style="list-style-type: none"> – Елементарні криві лінії, коло, еліпс, парабола та гіпербола. – Елементарна поверхня площини, циліндра, конуса, тора, сфери. – Полілінії, які складаються мінімум з трьох точок. – Поверхня створені обертанням 								<ul style="list-style-type: none"> – Розширені поверхні. – Підмножина підключених поверхонь. – Відображення 	
<ul style="list-style-type: none"> – Тривимірні точки та криві. – Точки визначені в параметричному просторі кривих та поверхонь. – Криві, визначені в параметричному просторі поверхонь. – Криві перетину. – Реплікація кривих, поверхонь та моделей поверхонь. – Тривимірний зсув кривих та поверхонь 				<ul style="list-style-type: none"> – В-сплайнові криві та поверхні. – Конічні криві. – Скульптурні поверхні. – Поверхневі криві. – Скручені криві. – Необмежена геометрія 				<ul style="list-style-type: none"> – Відкриті оболонки. – Відносини між домеданами топологічних об'єктів. – Субграні. – Субповерхні. – Обмежена геометрія, яка відповідає топологічній границі 	
<ul style="list-style-type: none"> – Обрізка кривих та поверхонь – Об'єднання кривих та поверхонь 		<ul style="list-style-type: none"> – Скульптурні криві та поверхні. – Обрізка кривих та поверхонь за допомогою топологічних об'єктів. – Об'єднання кривих та поверхонь за допомогою топологічних об'єктів 		<ul style="list-style-type: none"> – Тривимірна геометрія. – Геометричні перетворення. – Використання топології для обмеження геометричних об'єктів 					
		<ul style="list-style-type: none"> – Багатозв'язані 		<ul style="list-style-type: none"> – Однозв'язані 					

- конструктивна блочна геометрія (ISO 10303-515-2007/AIC 515);
- оброблювальні особливості (ISO 10303-522-2014/AIC 522);
- криволінійне вигнуте тіло (ISO 10303-523-2008/AIC 523).

Таблица 4

AIC 515	AIC 522	AIC 523
<ul style="list-style-type: none"> – Твердотільні примітиви. – Упорядковані булеві операції об'єднання, перетину, різниці над твердотільними примітивами. – В-гер та інші тверді тіла. – Булеві результати, отримані внаслідок операцій над твердими тілами. – Extruded_face_solids(витіснені тверді поверхні), які визначають нові форми примітивів 	<ul style="list-style-type: none"> – Деталі, які повинні бути виготовленні фрезеруванням або токарним процесом. – Оброблення деталі для визначення форми, яку необхідно виготовити. – Елементи функцій оброблення, необхідні для створення властивостей оброблення. – Подання необхідної форми для створення можливостей оброблення. – Функції, які можуть бути відтворенні у моделях. – Неявне подання функції оброблення шляхом вибору стандартних параметрів 	<ul style="list-style-type: none"> – Тривимірна геометрія. – Напрявлені криві – Тіла, утворенні згином площин – Тіла, утворені згином дисків. – Тіла, створенні згином поверхневих кривих. – Використання В-сплайнових поверхонь, визначених лінійчати ми поверхнями, з метою визначення згину тіла

Нормативно-технічною засадою розвитку сучасного автоматизованого комп'ютерного моделювання, здатного не лише описувати геометричну форму об'єктів, а й також дозволяти імітацію їхніх різних фізичних та інших властивостей, постає потужна серія 10303 стандартів ISO – STEP. Розвиток та впровадження цієї серії стандартів постає однією з найважливіших проблем у час автоматизованого комп'ютерного проектування. Розроблені авторами методичні матеріали сприятимуть опануванню фахівцями та застосуванню стандартів STEP за проектування.

Список використаних джерел

1. Норенков И. П. Информационная поддержка наукоемких изделий (CALS-технологии) / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.
2. ISO 10303-41: Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange — Part 41: Integrated generic resources: Fundamentals of product description and support.
3. ISO 10303-42: Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange — Part 42: Integrated generic resources: Geometric and topological representation.
4. STEP APPLICATION HANDBOOK ISO 10303 VERSION 330 June, 2006c
5. Hyun Chan Lee, «Strategies for Using STEP in Parametric Design» International Journal of Computer and Information Technology, July 2013.

Yevgeniia VASILINENKO, Valerii BONDARENKO
Dnipro

NORMATIVE SOFTWARE REPRESENTATIONS OF APPLIED INTERPRETED STRUCTURES OF GEOMETRIC MODELS IN TERMS OF STRUCTURE STEP

According to the materials of the in-depth bibliographic search and information processing of original primary sources (in particular, standards and relevant publications in English) conducted a comprehensive multidimensional analysis of the methodology of geometrical modeling STEP, the results of which designed easy to use tabular and graphical display of interrelationships of different aspects of geometric modeling of the product in the STEP. Multidimensional comparative characteristics of different methods of geometric modeling, which are regulated by STEP, are given in the form of tables. Developed teaching materials will contribute to the development of STEP standards by experts and their use in design practice.

Key words: Structure of the STEP, application interpreted structure (AIC), AIC with wireframe representation, AIC with a boundary representation, AIC with surface modeling, AIC with solid modeling.

Евгения ВАСИЛИНЕНКО, Валерий БОНДАРЕНКО
г. Днепр

НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПРИКЛАДНЫХ ИНТЕРПРЕТИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В STEP

По материалам проведения углублённого библиографического поиска и информационной обработки оригинальных первоисточников (в частности, стандартов и актуальных публикаций на английском языке) проведен всесторонний разноаспектный анализ методологии геометрического моделирования в STEP, по результатам которого разработаны удобные для применения табличные и графические отображения взаимосвязей разных аспектов геометрического моделирования продукта в STEP. Сравнительная разноаспектная характеристика разных методов геометрического моделирования, регламентированных STEP, приведена в виде таблиц. Разработанные методические материалы будут способствовать освоению стандартов STEP специалистами и их применению в практике проектирования.

Ключевые слова: Структура STEP, прикладные интерпретированные конструкции (AIC), AIC с каркасным представлением, AIC с граничным представлением, AIC с поверхностным моделированием, AIC с твердотельным моделированием.

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2016

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЫБОРА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

В статье рассматриваются методы решения многокритериальной задачи выбора транспортных средств для обеспечения эффективной перевозки грузов различными видами транспорта. Проведен анализ возможных рисков и неопределенностей при организации различных видов перевозок и разработана соответствующая информационная технология для решения многокритериальной задачи выбора транспортных средств.

Ключевые слова: информационная технология, мультимодальные перевозки, логистика, метод анализа иерархий.

Мультимодальные перевозки, основанные на использовании различных видов транспорта для перемещения товаров в пространстве и времени, занимают важное место в транспортной логистике. Следует отметить, что результаты таких перевозок во многом зависят от различного рода неопределенностей и рисков источниками которых являются неравномерность материальных и транспортных потоков, применением различного рода транспортных средств, состоянием транспортных коридоров и узлов, особенностями технологий перевозок и др. Это порождает множество разнообразных задач, для решения которых все большую востребованность получают методы поддержки принятия решений, прогнозирования, оптимизации систем логистики и построения на этой основе прикладных информационных технологий. Анализ существующих моделей и методов принятия решений и оптимизации логистических систем показал, что они направлены либо в сторону выбора решений относительно рисков, либо в сторону решения проблемы относительно выигрышей [1]. Обсуждение вопроса о подходах к совместному учету одновременно и выигрышей, и рисков в современной литературе отобрано явно недостаточно.

В последние годы различным проблемам логистики, в частности, математическим моделям и методам решения различных задач оптимизации и принятия решений посвящено множество работ как отечественных, так и зарубежных исследователей. Так, в работе [1], рассмотрена задача оптимизации системы логистики в бизнесе с использованием теории игр. Работы [2, 3] посвящены анализу критериев выбора различных транспортных средств для мультимодальных перевозок. В работе [5] рассмотрен вероятностный подход к моделированию возникающих неопределенностей в логистике. Достаточно обширный классификатор математических методов и моделей в логистике представлен в работе [6]. Вместе с этим необходимо указать на недостаточность разработки проблемы выбора в условиях многокритериальности, учитывающей не только одновременный учет рисков и выигрышей, но и более широкого круга показателей. В этой связи для решения такой задачи видится перспективным применение модели BOCR: В – Benefits (Выгоды), О – Opportunities (Возможности), С – Costs (Издержки), R – Risks (Риски), основанный на методе анализа иерархий Т. Саати [7].

Цель статьи состоит в описании решения многокритериальной задачи выбора транспортных средств мультимодальных перевозок с использованием модели BOCR.

Любое решение имеет достоинства и недостатки, которые необходимо тщательно проанализировать, совершая выбор. Некоторые из них отражают вполне определенные аспекты проблемы, другие являются менее ясными и могут иметь место с некоторой вероятностью. Благоприятные аспекты решения, ожидаемые с высокой вероятностью, называются выгодами, в то время как неблагоприятные называются – издержками. Сомнительные аспекты решения также могут быть положительными и отрицательными. Положительные аспекты – это возможности, которые решение могут создать, а отрицательные аспекты называют рисками, которые могут повлечь за собой рассматриваемое решение.

Каждый из четырех указанных аспектов может быть представлен отдельной иерархической структурой и проанализирован с использованием метода анализа иерархий (МАИ) [7] (рис. 1).

В конечном итоге, для каждой из рассматриваемой альтернативы подсчитывается отношение вида:

$$BOCR = \frac{\text{Выгоды} \times \text{Возможности}}{\text{Издержки} \times \text{Риски}}. \quad (1)$$

По величине данного отношения производится окончательный выбор альтернативы или может быть получено их ранжирование. Применение МАИ сопровождается выполнением следующих процедур: для каждого аспекта формируются матрицы попарных сравнений [B] между критериями [K] и между альтернативами [A] относительно каждого из критериев с использованием фундаментальной шкалы (табл. 2.10) [7]; определяются значения собственного вектора (C) этой матрицы с последующим их нормированием и определением весов вектора приоритетов. В формализованном виде данную процедуру можно представить так:

$$\begin{aligned} [B] = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{pmatrix} &\rightarrow \begin{pmatrix} \sqrt[n]{b_{11} \cdot b_{12} \cdot \dots \cdot b_{1n}} \\ \sqrt[n]{b_{21} \cdot b_{22} \cdot \dots \cdot b_{2n}} \\ \dots \\ \sqrt[n]{b_{n1} \cdot b_{n2} \cdot \dots \cdot b_{nn}} \end{pmatrix} \rightarrow \\ &\rightarrow (c_1 + c_2 + \dots + c_n) = C \rightarrow \left\{ \frac{c_1}{C} = \omega_1; \frac{c_2}{C} = \omega_2; \dots; \frac{c_n}{C} = \omega_n \right\} \rightarrow \\ &\rightarrow (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n). \end{aligned} \quad (2)$$

Далее выполняется проверка согласованности элементов матрицы [B] посредством подсчета отношения согласованности (ОС). $ОС = ИС/СИ$, где $ИС = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ – индекс согласованности; λ_{\max} – максимальное собственное число; n – число сравниваемых элементов матрицы [B]; СИ – случайный индекс (назначается по табл. 2.11, приведенной в [7]). В конечном итоге ОС не должно превышать 10%.

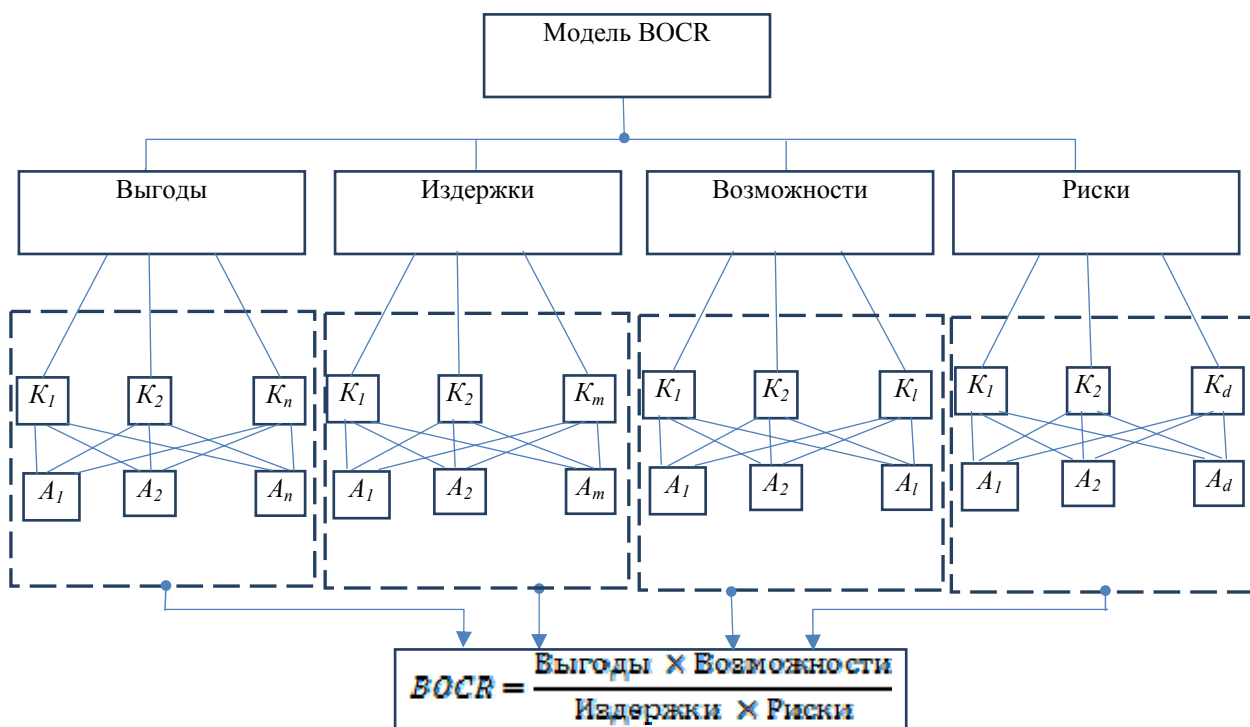


Рис. 1. Структурное представление модели BOCR

Рассмотрим пример решения задачи многокритериального выбора транспортных средств мультимодальных перевозок зерновых грузов с использованием модели BOCR.

С этой целью введем следующие обозначения:

1. Критерии для аспекта «Выгоды»: K_1 – время доставки груза; K_2 – стоимость перевозки; K_3 – частота отправок грузов; K_4 – перевозимый объем груза;

2. Критерии для аспекта «Издержки»: K_5 – финансовые вложения в модернизацию дорог и путей; K_6 – финансовые вложения в подвижные средства транспортировки грузов; K_7 – вложения в производственно-техническую базу транспортных коридоров и узлов;

3. Критерии для аспекта «Возможности»: K_8 – пропускная способность; K_9 – возможность доставки груза в необходимую точку территории; K_{10} – транспортные тарифы; K_{11} – погодные условия;

4. Критерии для аспекта «Риски»: K_{12} – риск невыполнения обязательств, связанных с сохранностью груза; K_{13} – риск невыполнения обязательств, связанный со сроками доставки груза.

В качестве альтернатив, характеризующих виды транспорта для перевозки зерновых грузов, выберем следующие:

A_1 – «Автомобиль – Автомобиль»; A_2 – «Автомобиль – Поезд»; A_3 – «Автомобиль – судно». Структурно задача представлена на рис. 2. Результаты попарных сравнений для всех четырех аспектов даны в табл. 1–4, которые используются для расчета итоговых векторов приоритетов (W).

Таким образом, имеем:

1. Для аспекта «Выгоды»

$$W_1 = \begin{pmatrix} 0.62 & 0.10 & 0.57 & 0.07 \\ 0.30 & 0.64 & 0.28 & 0.33 \\ 0.08 & 0.26 & 0.15 & 0.60 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.21 \\ 0.57 \\ 0.14 \\ 0.07 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.28 \\ 0.49 \\ 0.23 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

2. Для аспекта «Издержки»

$$W_2 = \begin{pmatrix} 0.66 & 0.15 & 0.10 \\ 0.19 & 0.60 & 0.26 \\ 0.15 & 0.25 & 0.64 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.61 \\ 0.27 \\ 0.12 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.45 \\ 0.35 \\ 0.20 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

3. Для аспекта «Возможности»

$$W_3 = \begin{pmatrix} 0.54 & 0.64 & 0.10 & 0.10 \\ 0.16 & 0.26 & 0.20 & 0.57 \\ 0.30 & 0.10 & 0.70 & 0.33 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.41 \\ 0.30 \\ 0.10 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.40 \\ 0.28 \\ 0.32 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

4. Для аспекта «Риски»

$$W_4 = \begin{pmatrix} 0.55 & 0.65 \\ 0.19 & 0.23 \\ 0.26 & 0.12 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.33 \\ 0.67 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.62 \\ 0.22 \\ 0.16 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

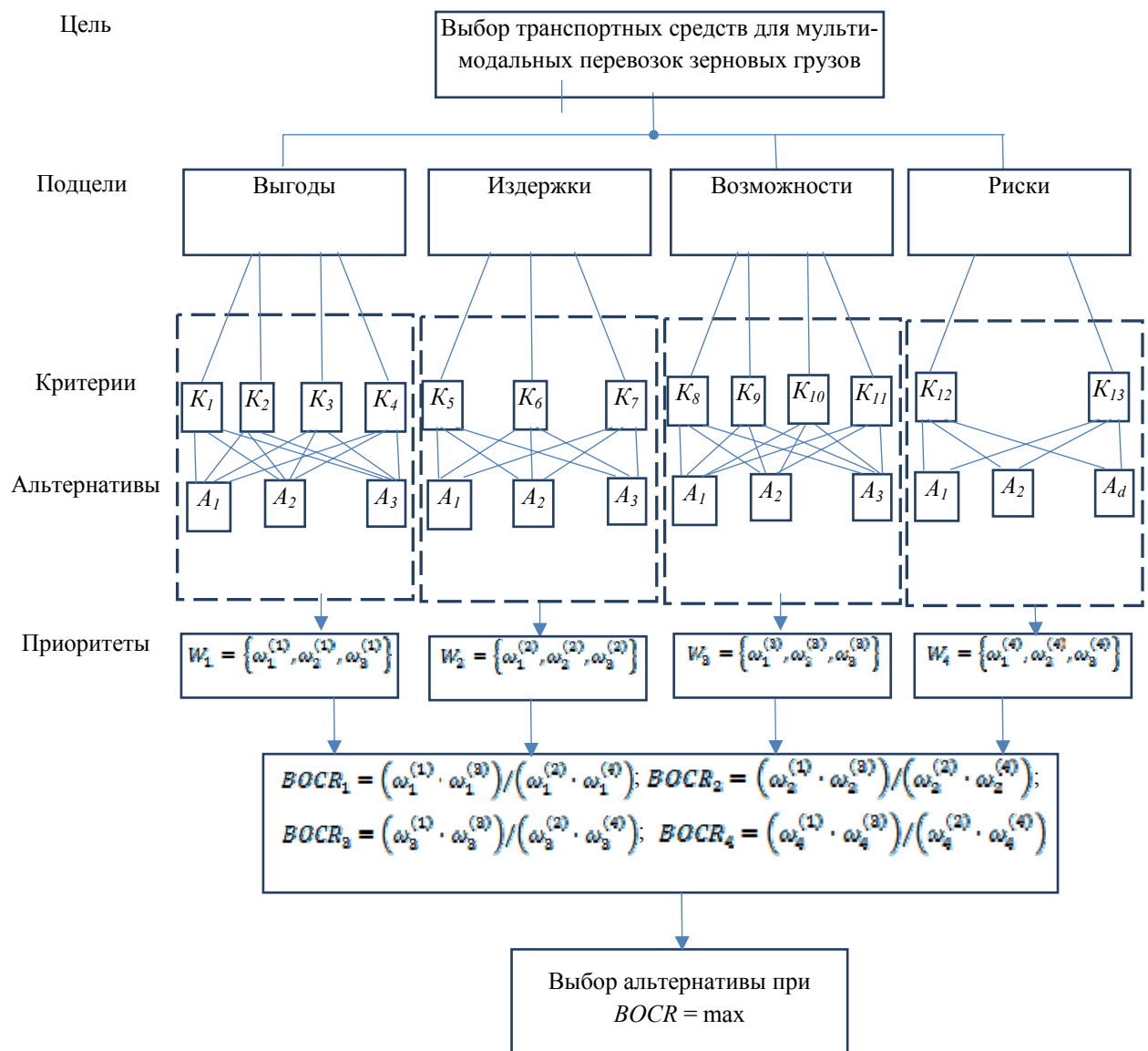


Рис. 2. Структура задачи выбора транспортных средств методом BOCR

Таблица 1

Матрица экспертных суждений для выгод

Критерии	K_1	K_2	K_3	K_4	Приоритеты (ω)	K_1	A_1	A_2	A_3	Приоритеты (ω)
K_1	1	1/4	2	3	0,21	A_1	1	3	5	0,62
K_2	3	1	5	5	0,57	A_2	1/3	1	5	0,30
K_3	1/2	1/5	1	3	0,14	A_3	1/5	1/5	1	0,08
K_4	1/3	1/5	1/3	1	0,07	K_3	A_1	A_2	A_3	Приоритеты (ω)
K_2	A_1	A_2	A_3	Приоритеты		A_1	1	2	4	0,57
A_1	1	1/3	1/5	0,10		A_2	1/2	1	2	0,28
A_2	3	1	5	0,64		A_3	1/4	1/2	1	0,15
A_3	5	1/5	1	0,26		K_4	A_1	A_2	A_3	Приоритеты (ω)
						A_1	1	1/5	1/7	0,07
						A_2	5	1	1/2	0,33
						A_3	7	2	1	0,60

Таблица 2

Матрица экспертных суждений для возможностей

Критерии	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	Приоритеты (ω)	K_8	A_1	A_2	A_3	Приоритеты (ω)
K_8	1	1/2	1/2	2	0,19	A_1	1	2	3	0,54
K_9	2	1	2	3	0,41	A_2	1/2	1	1/3	0,16
K_{10}	2	1/2	1	3	0,30	A_3	1/3	3	1	0,30
K_{11}	1/2	1/3	1/3	1	0,10	K_{10}	A_1	A_2	A_3	Приоритеты (ω)
K_9	A_1	A_2	A_3	Приоритеты		A_1	1	1/3	1/5	0,1
A_1	1	1/3	1/5	0,10		A_2	3	1	1/5	0,20
A_2	3	1	5	0,64		A_3	5	5	1	0,70
A_3	5	1/5	1	0,26		K_{11}	A_1	A_2	A_3	Приоритеты (ω)
						A_1	1	1/3	1/5	0,10
						A_2	3	1	3	0,57
						A_3	5	1/3	1	0,33

Таблица 3

Матрицы экспертных суждений для издержек

Критерии	K_5	K_6	K_7	Приоритеты (ω)	K_5	A_1	A_2	A_3	Приоритеты (ω)
K_5	1	3	4	0,61	A_1	1	5	3	0,66
K_6	1/3	1	3	0,27	A_2	1/5	1	2	0,19
K_7	1/4	1/3	1	0,12	A_3	1/3	1/2	1	0,15
K_6	A_1	A_2	A_3	Приоритеты (ω)	K_7	A_1	A_2	A_3	Приоритеты (ω)
A_1	1	1/3	1/2	0,15	A_1	1	1/3	1/5	0,10
A_2	3	1	3	0,60	A_2	3	1	1/3	0,26
A_3	2	1/3	1	0,25	A_3	5	3	1	0,64

Таблица 4

Матрицы экспертных оценок для рисков

Критерии	K_{12}	K_{13}	Приоритеты (ω)		K_{12}	A_1	A_2	A_3	Приоритеты (ω)
K_{12}	1	1/2	0,33		A_1	1	2	3	0,55
K_{13}	2	1	0,67		A_2	1/2	1	1/2	0,19
K_{13}	A_1	A_2	A_3	Приоритеты (ω)	A_3	1/3	2	1	0,26
A_1	1	3	5	0,65					
A_2	1/3	1	2	0,23					
A_3	1/5	1/2	1	0,12					

С учетом значений, полученных в выражениях (3), (4), (5), (6), построим таблицу отношений BOCR (табл. 5)

Таблица 5

Значения отношений BOCR

Альтернативы	A_1	A_2	A_3	Предпочтения альтернатив
Выгоды	0,28	0,49	0,23	$A_2 > A_1 > A_3$
Издержки	0,45	0,35	0,20	$A_1 > A_2 > A_3$
Выгоды/Издержки	0,62	1,4	1,15	$A_2 > A_3 > A_1$
Возможности	0,40	0,28	0,32	$A_1 > A_3 > A_2$
Риски	0,62	0,22	0,16	$A_1 > A_2 > A_3$
Выгоды/риски	0,45	2,22	1,43	$A_2 > A_3 > A_1$
Выгода/ (Издержки X Риски)	1,0	6,125	7,6	$A_3 > A_2 > A_1$
BOCR	0,4	1,7	2,3	$A_3 > A_2 > A_1$

Из рассмотрения данной таблицы видно, что с учетом значений рассматриваемых аспектов перевозок, полученных в нашем примере, лучшей является альтернатива A_3 , которая соответствует мультимодальной перевозке «Автомобиль – Судно».

В работе рассмотрена информационная технология, позволяющая решать многокритериальную задачу выбора вариантов транспортных средств для мультимодальных перевозок грузов.

В основе данной технологии лежит метод BOCR, который учитывает ряд качественных показателей перевозок, определяющих их оптимальность и эффективность. Это в конечном итоге, дает возможность в автоматизированном режиме формировать рекомендации для лица, принимающего решение (ЛПР).

Список используемых источников

1. Айбазова С. Х. Оптимизация системы логистики в бизнесе на основе теоретико-игровой модели: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. эконом. наук. — М., 2014.
2. Алесинская Т. В. Основы логистики. Функциональные области логистического управления. — Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. — 116 с.
3. Гончарук С. М. Методологические основы проектирования этапного развития облика и мощности мультимодальной транспортной сети. — Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. — 227 с.
4. Коваленко И. И. Методы качественного анализа в задачах судостроения, судоремонта и судоходства : учебное пособие. — Николаев : Илион, 2014. — 220 с.
5. Никифоров В. С. Мультимодальные перевозки и транспортная логистика : учебное пособие. — М. : ТрансЛит, 2007. — 272 с.
6. Плоткин Б. К. Экономико-математические методы и модели в логистике. — СПб. : Изд-во СПбГУЭФ, 2010. — 96 с.
7. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. / Научн. ред. А. В. Андрейчиков, О. М. Андрейчикова. — М. : Изд-во ЛКИ, 2008. — 360 с.

Igor KOVALENKO, Aindrii MANDRA, Sergii BORDUN
Mykolaiv

INFORMATION TECHNOLOGY EQUIPMENT FOR THE SELECTION OF MULTIMODAL TRANSPORTATION OF SHIPMENT

This article deals with the methods of solving the multicriteria problem of the transportation means selection to ensure the efficient shipment of goods with the help of various transport facilities.

Key words: information technology, multimodal transportation, logistics, hierarchy analysis method.

Igor KOVALENKO, Андрій МАНДРА, Сергій БОРДУН
Миколаїв

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИБОРУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ

У статті розглянуто методи вирішення багатокритеріальної задачі вибору транспортних засобів для забезпечення ефективного перевезення вантажів різними видами транспорту. Проведено аналіз можливих ризиків та невизначеностей при організації різних видів перевезень та розроблено відповідну інформаційну технологію для вирішення багатокритеріальної задачі вибору транспортних засобів.

Ключові слова: інформаційна технологія, мультимодальні перевезення, логістика, метод аналізу ієрархій.

Стаття надійшла до редколегії 04.05.2016

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ ІНТЕРФЕРЕНЦІЇ ПОТОКУ ПОРОХОВИХ ГАЗІВ У ГЛУШНИКУ ШУМУ ПОСТРІЛУ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ

Подано результати дослідження процесу витікання порохових газів з дульної частини гвинтівки у порожнину глушника шуму пострілу, яке проводилося за допомогою пакетів обчислювальної газодинаміки. Метою дослідження є виявлення впливу геометричних особливостей конструкції глушника на його редуційну ефективність. Предметом дослідження є розподіл динамічного тиску потоку в першій камері глушника з урахуванням ефекту інтерференції потоку порохових газів.

Ключові слова: глушник, мембрана, постріл, редуція тиску, шум.

Сучасний стан досягнень у розробках глушників шуму стрілецької зброї можна зазначити як такий, що має значні здобутки. Існує достатньо розвинута система конструктивної типології глушників, що налічує значну кількість принципових схем ефективної організації глушіння звуку. Основними напрямками розвитку цих схем є конструкції об'ємного способу глушіння та відхиляючої дії. Останні 20 років дослідники сфокусували свою увагу на симбіоз цих напрямків та досягли значних результатів підвищивши редуційну здатність глушників до 25-29 дБ. Це достатній рівень щоб забезпечити безпеку органів слуху бійця, але не завжди достатній, щоб забезпечити йому необхідні маскувальні характеристики.

Окрім маскувальної функції глушник (пристрій) повинен мати максимально ефективні масо-габаритні показники для зручності його використання. З точки зору виробництва глушник має бути достатньо простим та високорентабельним, тому кожен виробник аналогічної продукції прагне зменшити масо-габаритні показники пристроїв з ціллю збільшення свого прибутку. Постає питання наскільки можливо зменшити масо-габаритні показники глушника та водночас зберегти функціональну його ефективність.

Дослідженню процесу пострілу приділено достатньо значну частину наукових робіт, що висвітлюють газодинамічні процеси швидкоплинних явищ. Серед вітчизняних шкіл тематичного дослідження треба виділити науково-виробничу компанію "ІМКАС", Інститут технічної механіки НАНУ, ТОВ «AWS», які займаються дослідження ефекту Гартмана-Шпренгера, з конічними та сферичними мембранними елементами [1, 2]. Також певні дослідження проводяться в Одеському дослідному центрі ТОВ «Hamond» [3], що досліджують течію газів у модифікаціях конструкції глушника винайдену Хайрем Максимом. Серед іноземних компаній досить відомі виробники: GemTech [4], Silencer Co [5], що проводять дослідження з суцільно-корпусними конструкціями глушників для автоматичної стрілецької зброї.

Метою роботи є дослідження впливу геометричних особливостей конструкції глушника на редуційну ефективність, що визначає інтенсивність звукового фронту пострілу. Предметом дослідження є розподіл динамічного тиску потоку в першій камері глушника.

Процес глушіння шуму пострілу є динамічним та швидкоплинним явищем. Тому проблеми підвищення редуційних характеристик глушника слід поділити за категорією часу їх виникнення та означити три основні періоди гасіння шуму. Перший період – процес пікового гасіння потенціальної енергії потоку, відбувається до вильоту газів з глушника, другий – процеси заповнення глушника пороховими газами та підвищення статичного тиску у глушнику, третій – процес падіння ефективності глушника.

У зв'язку з широтою проблематики напрямку дослідження, у даній роботі розглянемо лише перший період гасіння шуму.

Досліджуючи перший період, необхідно означити наступну проблему. Факел потоку порохових газів на вильоті зі ствола має значну довжину високо-потенційної зони, на яку неможливо ефективно

вплинути застосовуючи конструктивні елементи глушника, наприклад, пластини або мембрани відхилення потоку. У той же час, саме гасіння тиску у перших камерах, де він є максимальним, задає тенденцію глушіння шуму у наступних камерах балансує між заповненням їх статичним тиском та кінетичними характеристиками потоку.

Існує спосіб редукції тиску, що базується на використанні вторинних хвиль інтерференції потоку, що утворюються після відбиття фронтальної хвилі порохових газів від стінок камери глушника. Першу камеру виконують порожньою на задану довжину та відділяють її від наступної фігурною мембраною у формі конуса або клину. Ефект інтерференційної дії працює наступним чином. Відомо, що розширюючись, периферійні шари потоку порохових газів рухаються швидше ніж у центральній його частині факелу, надалі ядрі потоку. Це пояснюється адіабатним його розширенням, при якому виникає відоме явище формування диску Маху [6, 7]. Відповідно периферійний потік випереджує ядро та першим досягає поверхні фігурної мембрани глушника, де відбувається зміна його напрямку на зворотній. Далі, відносно низько-потенційний розігнаний потік відбившись від мембрани вштовхується у високо-потенційний потік ядра, зменшуючи його осьову швидкість та додатково сприяючи його розширенню у радіальному напрямку. Явище взаємного проникнення швидкого потоку з меншим потенційним, але більшим кінетичним станом, у високо-потенційний потік з меншими кінетичними показниками означимо як ефект інтерференції потоку.

Дослідження проводиться за допомогою пакету обчислювальної газодинаміки використовуючи наступні параметри розрахунку:

Тип розрахунку за основою: Pressure-Based.

Тип розрахунку за часом: Transient.

Розрахунковий простір: 2D space: Planar.

Модель розрахунку: Energy, SST k-omega.

Робочий газ: повітря (ідеальний газ з кусково-поліноміальною залежністю зміни теплоємності від температури газу);

Граничні умови розрахунку:

Вхід: $P_{0tot}=610.99 \cdot 10^5 Pa$; $P_{0st}=306 \cdot 10^5 Pa$; $T_{0tot}=1639 K$,

$P_{tot}=f(P_{0tot}, t)^*$; $P_{st}=f(P_{0st}, t)^*$; $T_{tot}=f(T_{0tot}, t)^*$,

– де t час процесу, $*$ – експериментально визначені залежності.

– Вихід: $P_{gauge}=1 \text{ атм}$; $T_{tot}=300 K$.

Схема розрахунку: Couple

– Gradient: least square cell based;

– Pressure: Second order;

– Density: Second order upwind;

– Momentum: Second order upwind;

– TK Energy: Second order upwind;

– Transient formulation: First order implicit.

Контрольні значення розрахунку:

– Число Куранта 0,5

– Фактори релаксації: момент 0,5; тиск 0,5;

– Допоміжні фактори релаксації: густина 1.0, сила 1.0, ТКЕ 0.8, коефіцієнт дисипації 0.8;

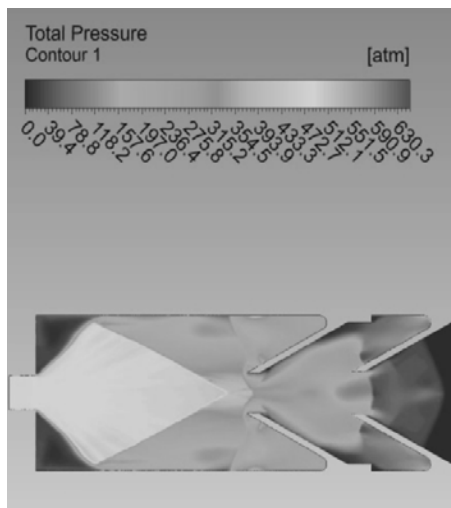
– Турбулентна в'язкість 1.0.

Початкові умови: метод – стандартна ініціалізація, відносні показники – відносно чарунок, $P_{gauge}=1 \text{ атм}$, $T_{tot}=300 K$.

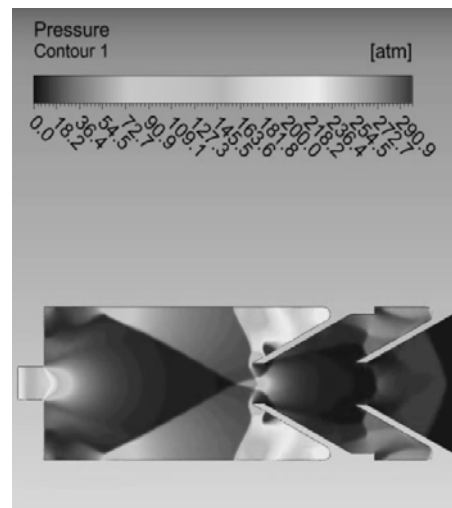
Розрахунок проводився на 300 тис. чарунок тетрагональної сітки. З постійним кроком за часом, що обраний за величиною $1e-08$. Критерій похибки сходження розрахунку $1e-04$.

Розрахунок був зупинений при досягненні $7.5e-04 \text{ с}$ загального дослідного часу процесу проходження порохових газів крізь глушник.

Проведені дослідження потоку встановили, що потік, розширюючись у периферійних зонах акумулює радіально спрямовану кінетичну енергію та відбивається від внутрішньої поверхні циліндричного кожуха глушника додатково створюючи ефект радіально-спрямованої інтерференції, що збиває потік у доцентровому напрямку формуючи конічну форму факелу (рис. 1).



a)



б)

Рис. 1. Формування конуса факела в епюрах повного (а) та статичного (б) тисків

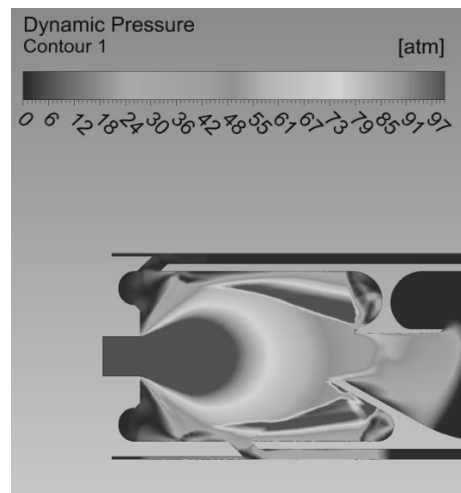


Рис. 2. Зображення усіченого конуса факела

На рисунку зображено варіант при якому довжина першої камери є достатньою для повного формування конуса факела потоку у момент проходження радіально спрямованої інтерференції до кульового отвору.

З рис. 1 видно, що розігнаний потік периферійних шарів факела частково пройшов до наступної камери. Це призвело до втрати можливості використати накоплену кінетичну енергію на розбиття ядра факела у першій камері.

Ряд додаткових досліджень з варіюванням довжини першої камери виявили, підвищення ефективності гасіння потоку за рахунок інтерференційної сили, якщо менша основа конусу факелу гранично рівна діаметру кульового отвору або дещо більша за нього (рис. 2). За цих умов шари розігнаного периферійного потоку не проходять до наступної розширювальної камери попередньо не відбившись від фігурної мембрани першої камери.

Зменшуючи довжину першої камери до утворення факелу форми усіченого конусу з величиною діаметра його меншої основи приблизно рівним величині кульового отвору, вдалося досягти подовження першого періоду редукції тиску до 40% (рис. 3) при однаковій загальній довжині глушника, тобто значно затримати порохові гази у глушнику без застосування складних конструктивних рішень, що збільшують вагу глушника.

Дослідження, при яких було продовжено скорочення першої камери встановили, що тенденція підвищення ефективності редукції тиску змінюється на протилежну. Це пояснюється недостатністю

довжини камери для повного розкриття факелу, і отже перетікання процесу розширення у наступну камеру, де і будуть виникати умови для виникнення ефекту інтерференції. Фактично це означає продовження розширювальної камери до другої мембрани, що за аналогією схоже до варіанту глушника з довгою першою камерою.

Узагальнюючи результати дослідження слід відмітити особливе значення попереднього розрахунку довжини першої камери при проектуванні глушника. Незалежно від розробленої його конструкції, газодинамічні процеси пострілу значною мірою залежать від редуційної ефективності саме першої камери, оскільки в ній відбувається первинне найінтенсивніше розширення потоку, перетворення потенційної енергії тиску в кінетичну енергію руху.

Збільшення періоду протікання порохових газів у глушнику було досягнуто завдяки підвищенню ефективності використання ефекту інтерференції потоку, що дозволило максимально затримати потік у першій камері, тим самим створити умови для керованого процесу редуції тиску у наступних розширювальних камерах.



Рис. 3. Порівняльний графік зміни динамічного тиску за часом у вихідному кульовому отворі глушника при формуванні усіченого (—) та повного конуса (- -) ядра факела

У подальших дослідженнях планується дослідити другий період процесів заповнення глушника пороховими газами та підвищення статичного тиску у розширювальних камерах, що провокує появу ефекту зменшення ефективної довжини глушника. Даний ефект має особливий негативний вплив у глушниках відхиляючого типу.

Список використаних джерел

1. Ручное огнестрельное оружие бесшумного боя. Приборы снижения уровня звука выстрела для автоматов. Проектирование и экспериментальная отработка / Н. А. Коновалов, О. В. Пилипенко, А. Д. Скорик, Ю. А. Кваша, В. И. Коваленко. — Днепропетровск : Институт технической механики НАНУ и НКАУ, 2008. — 303 с.
2. Проектирование прибора малошумной стрельбы методами численного моделирования / В. Л. Бучарский, К. Ю. Добринская, В. В. Сербин, А. В. Сичевой // Артиллерийское и стрелковое вооружение. — 2009. — № 2. — С. 3–7.
3. Моделирование процессов течения газов в глушителях шума выстрела. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.hamondrifle.com/ru/modelirovanie>.
4. Pat. US 20140374189 A1 USA, Int. Cl.F41A 21/30. Sound Suppressor / N Blake Yong, Phillip H. Dater. — 14/311,526; Filed Jun. 23, 2014; Pub. Date: Dec 25, 2014. — 9 p.
5. Pat. US 007856914B2 USA, Int. Cl.F41A 21/00. Noise suppressor / Jonathon Shults, Steven Michael Pappasa. — 12/324,623; Filed Nov. 26, 2008; Pub. Date: Dec 28, 2010. — 11 p.
6. Шмидт Э. М., Горднер Р. Э., Фанслер К. С. Поле течения при вылете снаряда из ствола // «Аэрокосмическая техника». Материалы из журналов Американского института аэронавтики и астронавтики, тематический выпуск. Аэродинамика летательных аппаратов и их элементов. — Том 3, № 4, апрель. — 1985. — С. 126–128.
7. Левинсон Я. И. Аэродинамика больших скоростей (газовая динамика) / под ред. Б. Я. Шумяцкого. — М. : Государственное издательство оборонной промышленности, 1950. — 352 с.

Dmytro KOTLYAR, Dmytro VOLIK
Mykolaiv

STUDY OF THE INTERFERENCE EFFECT OF POWDER GASES FLOW IN THE SILENCER SUPPRESSOR FOR WEAPONS

Here are represented results of research of process of powder gases outflow from the rifle barrel to inner space of shot sound suppressor, which was held within usage of CFD packages. The goal of research is detection of influence of geometric features of suppressor on its sound reduction ability. Subject of research is distribution of dynamic pressure in first chamber of suppressor considering effect of interference of powder gases flow.

Key words: suppressor, membrane, shot, reduction of pressure, noise.

Дмитрий КОТЛЯР, Дмитрий ВОЛИК
г. Николаев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ПОТОКА ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ В ГЛУШИТЕЛЕ ШУМА ВЫСТРЕЛА СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

Представляются результаты исследования процесса истечения пороховых газов из дульной части винтовки в полость глушителя шума выстрела, которое проводилось с помощью пакетов вычислительной газодинамики. Целью исследования является определение влияния геометрических особенностей конструкции глушителя на его редуцирующую эффективность. Предметом исследования является распределение динамического давления потока в первой камере глушителя с учетом эффекта интерференции потока пороховых газов.

Ключевые слова: глушитель, мембрана, выстрел, редукция давления, шум.

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2016

ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНДАРТУ ОЦІНЮВАННЯ ДЛЯ КРИТЕРІАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕСТІВ

У роботі запропоновано обчислювальну технологію знаходження критеріального балу для критеріально-орієнтованих тестів на основі методу множинного порівняльного аналізу експертних оцінок складності тестових завдань з використанням коефіцієнту конкордації. Метод вибору тестового стандарту базуються на експертних оцінках складності завдання. У випадку залучення групи експертів для оцінки змісту тестових завдань пропонується перевіряти узгодженість їх рішень за допомогою методу множинного порівняльного аналізу з використанням рангового коефіцієнту кореляції Кендалла.

Ключові слова: оцінка навчальних досягнень, критеріально-орієнтований тест, стандарт оцінювання, експертна оцінка якості тестових завдань, множинний порівняльний аналіз, коефіцієнт конкордації.

Тестування навчальних досягнень є важливою складовою частиною навчального процесу. Педагогічне тестування широко застосовується для контролю знань в різних цілях. За цілями застосування педагогічні тести поділяються на два класи – нормативно-орієнтовані і критеріально-орієнтовані.

Нормативно-орієнтований педагогічний тест (norm-referenced test) дозволяє порівнювати навчальні досягнення (рівень підготовки, рівень професійних знань і умінь) окремих випробовуваних один з одним. Критеріально-орієнтований педагогічний тест (criterion-referenced test) дозволяє оцінювати, якою мірою випробовувані оволоділи необхідним навчальним матеріалом.

Нормативно-орієнтовані педагогічні тести використовуються для того, щоб отримати надійні і нормально розподілені бали для порівняння тестованих. Критеріально-орієнтовані педагогічні тести застосовуються для того, щоб інтерпретувати результати тестування відповідно рівнем навченості випробовуваних. Істотне значення набуває використання критеріально-орієнтованих тестів в системі вищої освіти для поточної, проміжної і підсумкової атестації студентів. Викладачі навчальних закладів можуть використовувати результати критеріально-орієнтованих тестів, щоб правильно оцінити рівень підготовки студентів, а також визначити якість тих чи інших програм навчання.

Задача обробки даних педагогічного тестування та контролю знань за критеріально-орієнтованою методикою в роботах [1–4] розглядається як задача підтримки прийняття рішень при класифікації об'єктів навчання (тестованих) за рівнем підготовки, для вирішення якої використовуються методи теорії статистичних рішень (критерій Байеса, Неймана-Пірсона, мінімакса, Вальда). Застосування даних методів спрямоване на створення систем статистичного контролю знань за альтернативною ознакою.

На сьогодні розрізняють два основних види критеріально-орієнтованих тестів, що відрізняються один від одного окремими характеристиками – це тести орієнтовані на визначення рівня індивідуальних досягнень студентів та кваліфікаційні тести.

Кваліфікаційні тести (mastery tests – тести на майстерність) – використовуються для визначення в групі осіб, що проходять тестування, кваліфікованих або некваліфікованих у відповідній області [5]. Цей вид тестування базується на заздалегідь вибраній нормі оцінювання – критеріальному балі. Найчастіше такі тести використовуються для розділення групи студентів на підгрупи (дві або більше) в залежності від рівня засвоєння необхідного об'єму знань у відповідній змістовній області. Наприклад, розділення на підгрупи: тих, хто повністю оволодів відповідними знаннями, тих, яким належить засвоєння знання додатково поглибити або розширити, тих, кому необхідно повторити вивчення даної змістовної області. Таким чином, для проходження кваліфікаційного тесту студент має досягти необхідного мінімального критерію (стандарту) оцінювання. На підставі цього, встановленого розробниками тесту критерію, приймається рішення відносно кожного з тих, хто тестується. В тесті даний критерій, за звичай, відображається визначеною кількістю правильно виконаних завдань.

Методика встановлення критерію оцінювання кваліфікації за результатами тестування, методика оцінки рівня помилки цього критерію та порядок прийняття рішення щодо кваліфікації або недостатній підготовленості студента є найважливішими елементами, що мають прийматися до уваги під час розроблення кваліфікаційних тестів.

Таким чином під час ідентифікації рівня знань учасників навчального процесу з використанням методу послідовного аналізу для визначення ймовірності невиконання завдань p_i , $i = \overline{1, n}$ для певного класу ($1..n$) постає задача вибору стандарту оцінювання q_i (ймовірності вірно виконаних завдань для кожного класу).

Методи вибору тестового стандарту базуються на експертних оцінках змісту тестового завдання. На основі дослідження даних методів, описаних у роботах [6–8], для чотирьохальтернативної задачі класифікації тестованих за рівнями навченості: «початковий» (І клас), «середній» (ІІ), «достатній» (ІІІ) та «високий» (ІV) обрано метод Ангофф, який заснований на послідовних експертних оцінках змісту тестових завдань. Спочатку виконується вибір стандарту оцінювання для І класу. Експерт-викладач для кожного завдання тесту встановлює ймовірність того, що мінімально компетентний студент дасть на нього вірну відповідь. Для однозначності експерту (або групі експертів) пропонується обрати значення ймовірності P_i зі значень 0,9, 0,8, ..., 0,1. Визначивши суму значень даних

ймовірностей отримаємо критеріальний бал: $K = \sum_{i=1}^n P_i$, де n – загальна кількість завдань у тесті. Ста-

ндарт оцінювання визначається за формулою: $q = \frac{K}{n}$. Тоді ймовірність невиконання завдань $p = 1 - q$.

Після вибору критеріального балу для «початкового» рівня навченості, експерт проводить оцінку кожного тестового завдання вже на більш високий стандарт «середній», «достатній» та «високий». Для цього експерт повторює для кожного завдання описану вище процедуру, але вже присвоює ймовірності 0,9, 0,8, ..., 0,1 для мінімально компетентних «трієчників», «хорошистів», «відмінників». Знаходження критеріального балу для «хорошистів» можна виконати шляхом визначення напівсуми критерійних балів для «відмінників» та «трієчників».

У випадку залучення групи експертів для оцінки змісту тестових завдань пропонується перевіряти узгодженість їх рішень за допомогою методу множинного порівняльного аналізу експертних оцінок з використанням коефіцієнту конкордації. Відповідно до робіт [8–10] формується обчислювальна процедура підтримки прийняття узгодженого рішення, яка містить наступні етапи:

1. Задаються значення змінних $t = 1, k_j^0 = \frac{1}{m}, j = \overline{1, m}$, де k_j^0 – початкові значення компетентності експертів; m – кількість експертів.

2. Обчислюються значення x_i^t та записують у матричній формі:

$$x_i^t = \sum_{j=1}^m x_{ij} k_j^{t-1}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де x_{ij} – значення оцінки j -м експертом i -го запитання тесту; n – кількість завдань в тесті.

3. Обчислюються значення λ^t за формулою:

$$\lambda^t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} x_i^t, \quad t = 1, 2, \dots, \quad (2)$$

4. Збільшується $t: t = t + 1$. Обчислюються значення k_j^t за формулою:

$$k_j^t = \frac{1}{\lambda^t} \sum_{i=1}^n x_{ij} x_i^t, \quad \sum_{j=1}^m k_j^t = 1, \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

5. Повторюються пункти 2-4, поки процес не зійдеться з деякою заданою точністю ε ($\varepsilon = 10^{-6}$). Отримують вектор групової оцінки тестових завдань: $X^t = (x_1, x_2, \dots, x_n)'$ та вектор вагових

коефіцієнтів компетентності експертів: $K^t = (k_1, k_2, \dots, k_m)'$. Враховуючи, що обчислювальний процес рекурентний, досліджується його збіжність. Виключаючи з рівнянь (1–3) змінні k_j^{t-1} та x_i^t , отримуємо:

$$x' = \frac{1}{\lambda^{t-1}} Bx^{t-1}, \quad k' = \frac{1}{\lambda^{t-1}} Ck^{t-1}, \quad t = 1, 2, \dots, \quad (4)$$

де B та C – матриці розмірності $(n \times n)$ та $(m \times m)$ відповідно:

$$B = XX', \quad C = X'X, \quad X = \|x_{i,j}\|.$$

З теореми Перрона-Фробеніуса [11] виходить: якщо матриці B та C додатньо визначені, то при $t \rightarrow \infty$, вектори X, K сходяться до власних векторів матриць B та C , які відповідають максимальним власним числам цих матриць. Граничні значення векторів X, K обчислюються при рішенні наступних рівнянь:

$$BX = \lambda_B X, \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad |B - \lambda_B X| = 0,$$

$$CK = \lambda_C K, \quad \sum_{j=1}^m k_j = 1, \quad |C - \lambda_C K| = 0,$$

де λ_B, λ_C – максимальні власні числа матриць B та C , які приймаються як групові оцінки компетентності експертів.

6. Виконується оцінка узгодженості рішень експертів. Початкова матриця спостережень $\|x_{ij}\|$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$ перетворюється у матрицю рангів $\|R_{ij}\|$, на основі якої обчислюються характеристики:

$$r_i = \sum_{j=1}^m R_{ij}, \quad i = \overline{1, n}; \quad D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2, \quad \bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i; \quad W = \frac{D}{D_{\max}}, \quad 0 < W \leq 1,$$

де W – дисперсійний коефіцієнт конкордації (множинний коефіцієнт кореляції рангів Кендалла).

Якщо має місце відсутність пов'язаних рангів, то D_{\max} розраховується наступним чином:

$$\sum_{i=1}^n R_{ij} = \frac{1}{2} n(n+1), \quad j = \overline{1, m}, \quad \bar{r} = \frac{1}{2} (n+1)m,$$

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r} \right)^2, \quad D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2 = \frac{1}{n-1} S, \quad D_{\max} = \frac{m^2(n^3 - n)}{12(n-1)},$$

На основі даних виразів обчислюються коефіцієнт конкордації:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}.$$

Якщо мають місце зв'язані ранги, то:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j},$$

де $T_j = \sum_{k=1}^{H_j} (h_k^3 - h_k)$ – показник зв’язаних рангів у j -му ранжуванні; H_j – кількість груп рівнозначних рангів у j -му ранжуванні; h_k – кількість рівнозначних рангів у k -й групі зв’язаних рангів при ранжуванні за j .

Коефіцієнт конкордації дорівнює 1 у тих випадках, коли судження експертів за всіма об’єктами повністю співпадають, та дорівнює 0, коли всі ранжировки різні. В інших випадках його значення відповідає нерівності $0 \leq W \leq 1$. Враховуючи те, що коефіцієнт координації являє собою випадкову величину, виникає необхідність у перевірці його значущості.

Значущість W , а отже, перевірка гіпотези $H_0: W = 0$ при $n > 7$ відбувається на підставі статистичної характеристики для незв’язаних рангів:

$$\chi^2 = Wm(n-1) \quad (5)$$

або для зв’язаних рангів:

$$\chi^2 = \frac{12S}{mn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m T_j}, \quad (6)$$

які мають χ^2 – розподіл з $\nu = n-1$ кількістю степенів вільності.

Знайдене значення χ^2 має бути більше табличного χ^2 , що визначається числом степенів вільності та рівнем довірчої ймовірності ($\chi^2 \geq \chi_{\text{табл}}^2$). Це підтверджує значущість коефіцієнта конкордації, дозволяє відкинути гіпотезу $H_0: W = 0$ та признати, що оцінки експертів узгоджені.

В статті розглянуто задачу визначення стандарту оцінювання для критеріально-орієнтованих тестів, для вирішення якої запропоновано обчислювальну технологію аналізу експертних оцінок складності тестових завдань з використанням коефіцієнту конкордації. Досягнуто підвищення ефективності процесу підтримки прийняття рішень під оцінки змісту тестових завдань за рахунок залучення групи експертів та перевірки узгодженості їх рішень за допомогою методу множинного порівняльного аналізу експертних оцінок.

Список використаних джерел

1. Васильев В. И. Основы культуры адаптивного тестирования / В. И. Васильев, Т. Н. Тягунова. — М.: Издательство ИКАР, 2003. — 584 с.
2. Galeev I. A Learning Model in MONAP / I. Galeev, V. Ivanov, M. Akhmadullin // Human-Computer Interaction. The 6th International Conference. EWHCI'96. Moscow, 1996. — P. 320—323.
3. Автоматизация контроля обученности в процессе подготовки специалистов для систем безопасности / А. Н. Членов, И. Г. Дровникова, Т. А. Буцынская, П. А. Орлов // Научный информационный сборник «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». — М.: ВINITI, 2009. — № 4. — С. 107—116.
4. Переверзев В. Ю. Критеріально-орієнтовані педагогічні тести для ітогової аттестації студентів / В. Ю. Переверзев. — М.: НМЦ СПО Міністерства освіти РФ, 1999. — 152 с.
5. Зінковський Ю. Ф., Мірських Г. О. Особливості педагогічних тестів // «Вісник НТУУ «КПІ». Серія — Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — Вип. 42. — 2010. — С. 157—165.
6. Люсин Д. В. Основы разработки и применения критеріально-орієнтованих педагогічних тестів / Д. В. Люсин. — М.: Исследовательский центр, 1993. — 51 с.
7. Angoff W. H. Scales, norms, and equivalent scores / W. H. Angoff. — Princeton, NJ:ETS, 1984. — p. 153. — URL: <http://www.ets.org/Media/Research/pdf/Angoff.Scales.Norms.Equiv.Scores.pdf>.
8. Kaftandjieva F. Methods for Setting Cut Scores in Criterion-referenced Achievement Tests / F. Kaftandjieva. — Cito, Arnhem: EALTA. — 2010. — p. 170. — URL: http://www.ealta.eu.org/documents/resources/FK_second_doctorate.pdf.
9. Литвак Б. Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа / Б. Г. Литвак. — М.: Радио и связь, 1982. — 118 с.
10. Принятие решений в системах мониторинга / Т. Г. Емельяненко, А. В. Зборовский, А. Ф. Приставка, Б. Е. Собко. — Днепропетровск: РИК НГУ, 2005. — 224 с.
11. Евланов Л. Г. Экспертные оценки в управлении / Л. Г. Евланов, В. А. Кутузов. — М.: Экономика, 1978. — 134 с.

Kateryna KUZMA
Mykolaiv

COMPUTER TECHNOLOGIES OF DEFINITION OF STANDART CRITERIA FOR CRITERION-REFERENCED TESTS

In the article we propound the computer technology for criterion score definition of criterion-referenced tests on the basis of the comparative analysis of multiple expert assessments of test complexity with the use of the rank correlation coefficient. The score definition is based on expert assessment of test quality. If a group of experts define test quality we propound to use the comparative analysis of test complexity with the use of the rank correlation coefficient.

Key words: assessment of educational achievement, criterion-referenced test, the assessment standard, expert assessment of test quality, multiple comparative analysis, rank correlation coefficient.

Екатерина КУЗЬМА
г. Николаев

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАНДАРТА ОЦЕНКИ ДЛЯ КРИТЕРИАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕСТОВ

В работе предложено вычислительную технологию нахождения критериального балла для критериально-ориентированных тестов на основе метода множественного сравнительного анализа экспертных оценок сложности тестовых заданий с использованием коэффициента конкордации. Метод выбора тестового стандарта основан на экспертных оценках сложности задачи. В случае привлечения группы экспертов для оценки содержания тестовых заданий предлагается проверять согласованность их решений с помощью метода множественного сравнительного анализа с использованием рангового коэффициента корреляции Кендалла.

Ключевые слова: оценка знаний, критериально-ориентированный тест, стандарт оценки, экспертная оценка качества тестовых заданий, множественный сравнительный анализ, коэффициент конкордации.

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2016

НЕХАОТИЧНІ ТРАЄКТОРІЇ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА З РУХОМОЮ ТОЧКОЮ ПІДВІСУ

Наведено метод вибору значень параметрів для одержання нехаотичних траєкторій коливань вантажу маятників з рухомими точками підвісу. Метод базується на проекційному фокусуванні, сутність якого полягає у побудові у фазовому просторі наближеної інтегральної кривої розв'язку системи рівнянь Лагранжа другого роду, побудови її проекції на координатну фазову площину, яка утворює фазову траєкторію, та вибору значення «керуючого» параметра для забезпечення нехаотичних коливань.

Ключові слова: маятник із рухомою точкою підвісу, маятник Капиці, рівняння Лагранжа 2-роду, траєкторія переміщення вантажу маятника.

Математичні маятники з рухомою точкою підвісу є зручними моделями для випробування методів вивчення коливальних процесів [1–3]. Цікавість викликають геометричні форми траєкторій переміщення по площині (центра) вантажу. Адже вони ілюструють розв'язки відповідних диференціальних рівнянь, які за аналогією можна використати і в подібних за змістом задачах. Наприклад, за допомогою маятника з віброуючою точкою підвісу академік П. Л. Капиця пояснював принцип дії високочастотного генератора (ніготронома), що застосовується в ядерній фізиці.

Існує значна кількість публікацій, присвячених математичним маятникам із рухомою точкою підвісу, серед яких чільне місце займають роботи, присвячені маятникам Капиці [1–3]. У них розглядаються різноманітні прояви феномену цього різновиду маятників. Найцікавіший із них проявляється у тому, що точка абсолютно нестійкої рівноваги для математичного маятника, може виявитися точкою стійкої рівноваги для маятника Капиці. Розглядаються задачі параметричного резонансу, коли нижнє положення рівноваги не є стійким, і амплітуда малих відхилень маятника наростає в часі. Також цікаві ефекти, коли при великій амплітуді вимушених коливань у системі можуть реалізовуватися хаотичні режими.

Ці дослідження доцільно було б доповнити графічним унаочненням результату розв'язання рівнянь, що описують динаміку коливань маятників із рухомою точкою підвісу. А саме – унаочненню траєкторій коливань вантажу з метою виявлення серед них нехаотичних траєкторій.

Розробити графічний комп'ютерний метод вибору значень параметрів для одержання нехаотичних траєкторій коливань вантажу маятників з рухомою точкою підвісу.

Спочатку розглянемо випадок коливання математичного маятника, точка підвісу якого рухається вздовж горизонтальної осі Ox . У цьому випадку для опису динаміки руху можна використати [3] диференціальне рівняння

$$L \left(\frac{d^2}{dt^2} v(t) \right) + \left(\frac{d^2}{dt^2} f(t) \right) \cos(v(t)) + g \sin(v(t)) = 0. \quad (1)$$

У формулі (1) прийнято такі позначення: $v(t)$ – функція зміни величини кута відхилення маятника; L – довжина маятника; $f(t)$ – закон зміни положення точки підвісу маятника вздовж осі Ox ; $g = 9,81$.

Розв'язувати рівняння (1) будемо чисельним методом Рунге-Кутти з початковими умовами: а) $v(0) = v_0$; б) $v'(0) = dv_0$. Для визначення значень параметрів v_0 і dv_0 , які б забезпечили нехаотичну траєкторію руху вантажу маятника, застосуємо метод проекційного фокусування [4]. Для цього чисельним методом із обраними початковими умовами і з урахуванням функції $f(t)$ розв'язуємо рівняння (1) і будуємо зображення інтегральної кривої у фазовому просторі $\{v, dv, t\}$ залежно від значення

«керуючого» параметра, наприклад, довжини маятника L . При випадкових значеннях v_0 і dv_0 у фазовому просторі утвориться «плутана» інтегральна крива (рис. 1, а). Спроектуємо її на фазову площину $\{v, dv\}$, де також спостерігаємо відповідну «плутану» фазову траєкторію. У разі зміни «керуючого» параметра L має змінюватися і характер фазової траєкторії.

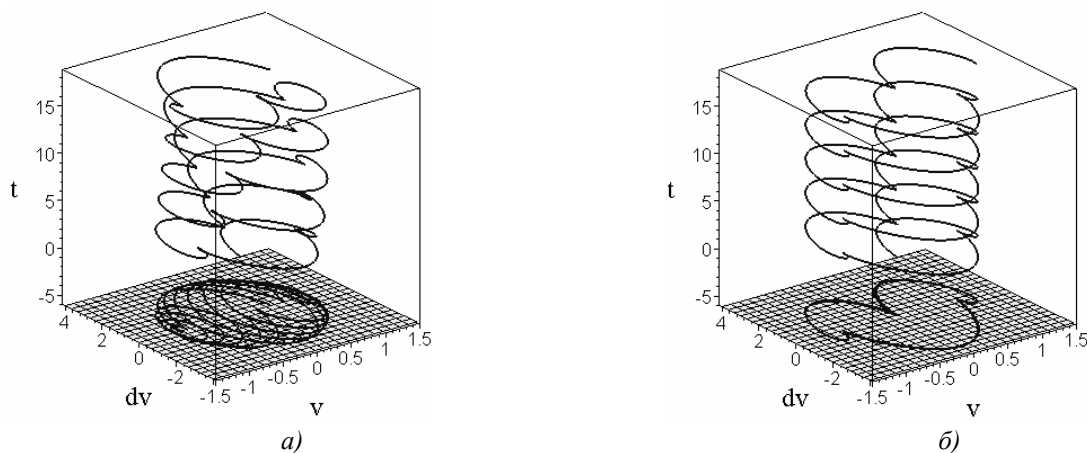


Рис. 1. Фазові траєкторії як проекції інтегральних кривих:

а) для довільного значення «керуючого» параметра L ; б) для критичного значення L_0 «керуючого» параметра L

При певному критичному значенні $L = L_0$ характер фазової траєкторії зміниться на якісному рівні – вона перетвориться у «закономірну» криву. На фазовій площині спостерігатиметься ніби оптичний ефект «наведення на різкість» плутанини фазових траєкторій (рис. 1, б). Цей процес знаходження критичних значень параметрів названо *проекційним фокусуванням*.

Урахування критичного значення параметра L_0 під час розв'язання диференціального рівняння (1) приведе до координат точок на площині $\{x, y\}$, які мають розташуватися на нехаотичній траєкторії.

Наведемо приклад розв'язання системи рівнянь (1) з такими умовами: $v_0 = 0$; $dv_0 = 0$; $f(t) = \sin(7t)/2$. У разі зміни параметра L , наприклад: у межах $2 \leq L \leq 3$ з кроком $h = 0,2$ одержуємо множину інтегральних кривих, одну з яких наведено на рис. 2, а. Критичне значення параметра одержуємо в результаті проекційного фокусування при значенні $L_0 = 2,456$, що відповідає рис. 1, б та 2, а. На рис. 2, б наведено приклад геометричного моделювання процесу коливання маятника та побудови нехаотичної траєкторії. На рис. 3 наведено інші знайдені варіанти нехаотичних траєкторій.

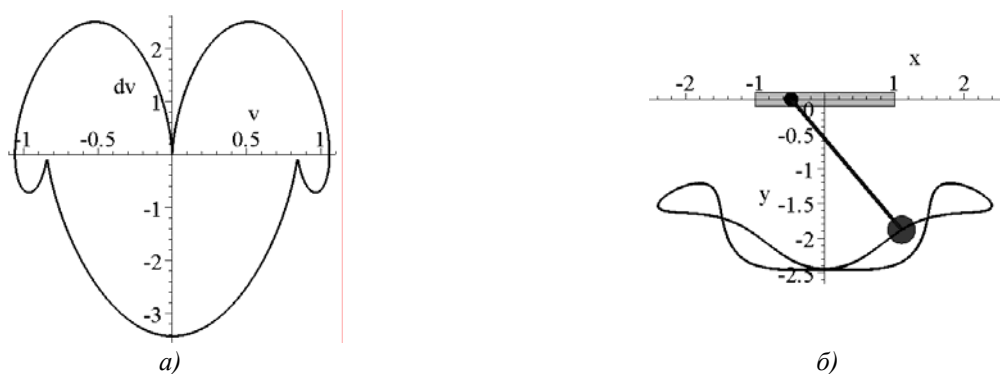


Рис. 2. Приклад моделювання коливання маятника з параметрами:

$v_0 = 0$; $dv_0 = 0$; $L = 2,456$; $f(t) = \sin(7t)/2$; а) фазова траєкторія;

б) кадр анімаційної схеми коливання маятника

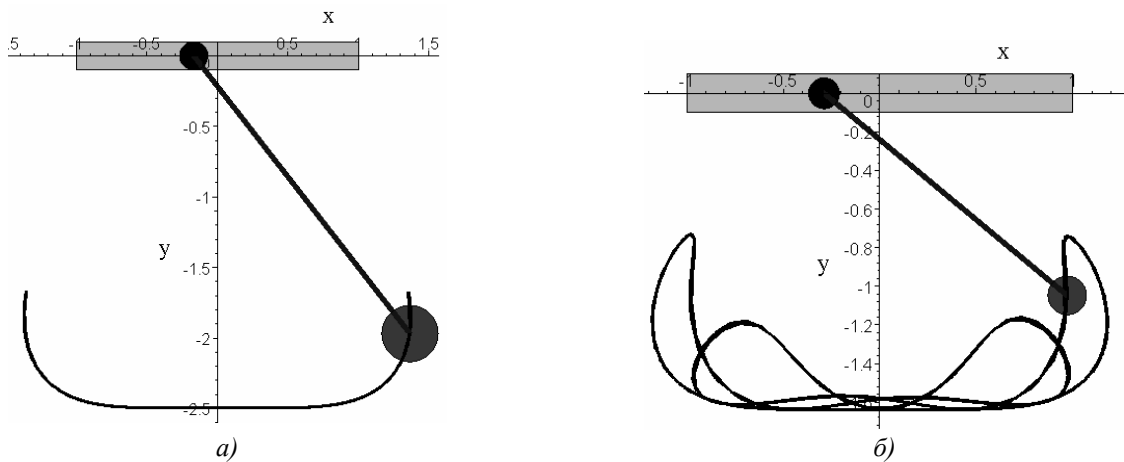


Рис. 3. Приклад моделювання коливання маятника з параметрами:

$v_0 = 0$; $dv_0 = 0$; $f(t) = \sin(5t)/2$; при: а) $L = 2,496333$; б) $L = 1,64$

Далі розглянемо випадок коливання математичного маятника, точка підвісу якого рухається вздовж вертикальної осі Oy . Теорію такої коливальної системи у 1951 р. запропонував академік П. Л. Капиця [1]. Для опису динаміки руху маятника використаємо [3] диференціальне рівняння

$$L \left(\frac{d^2}{dt^2} v(t) \right) + (g + Aw^2 \cos(wt)) \sin(v(t)) = 0. \quad (2)$$

У формулі (2) прийняті такі позначення: $v(t)$ – функція зміни величини кута відхилення маятника; L – довжина маятника; $\cos(wt)$ – закон зміни положення точки підвісу маятника вздовж осі Oy ; A – амплітуда коливань; w – частота коливань; $g = 9,8$.

Розв'язувати рівняння (2) будемо чисельним методом Рунге-Кутти з початковими умовами: $v(0) = v_0$; $v'(0) = dv_0$. Для визначення значень параметрів A і w , які б забезпечили нехаотичну траєкторію руху вантажу маятника, застосуємо метод проекційного фокусування.

Для цього знайдемо розв'язок рівняння (2) для $L = 0.1$; $w = 150$ і з початковими умовами $v_0 = \pi/20$; $dv_0 = 0$. Методом проекційного фокусування одержимо критичні значення амплітуди коливань A , що забезпечують нехаотичні коливання вантажу.

На рис. 4. зображено приклади геометричного моделювання траєкторій вантажу маятника Капиці для знайдених значень амплітуди коливань (наведено кадри анімаційної схеми процесу коливань). На рис. 4, з для порівняння наведено приклад хаотичних коливань вантажу. На рис. 5 зображено фазові траєкторії, відповідні випадкам коливань із рис. 4.

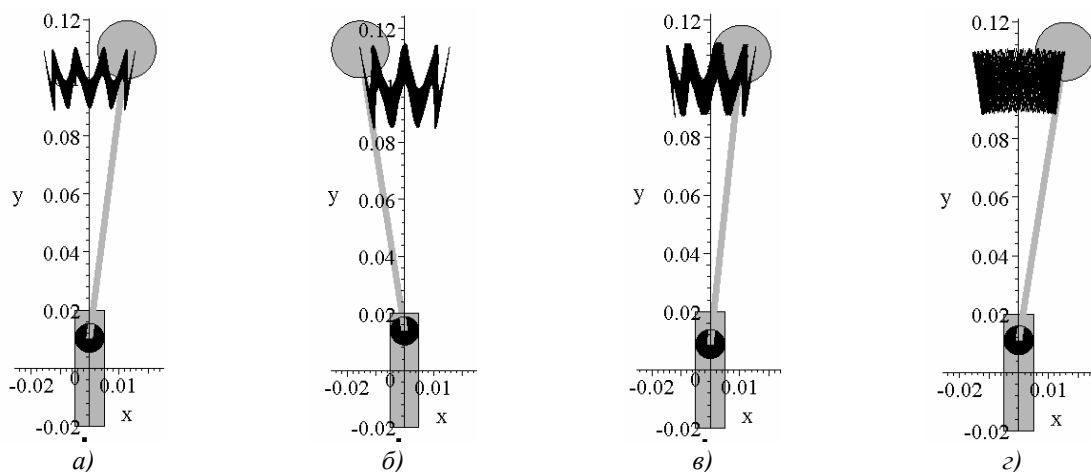


Рис. 4. Геометричне моделювання траєкторій вантажу маятника Капиці для: а) $A = 0,0105$; б) $A = 0,01469$; в) $A = 0,01245$; г) $A = 0,011$

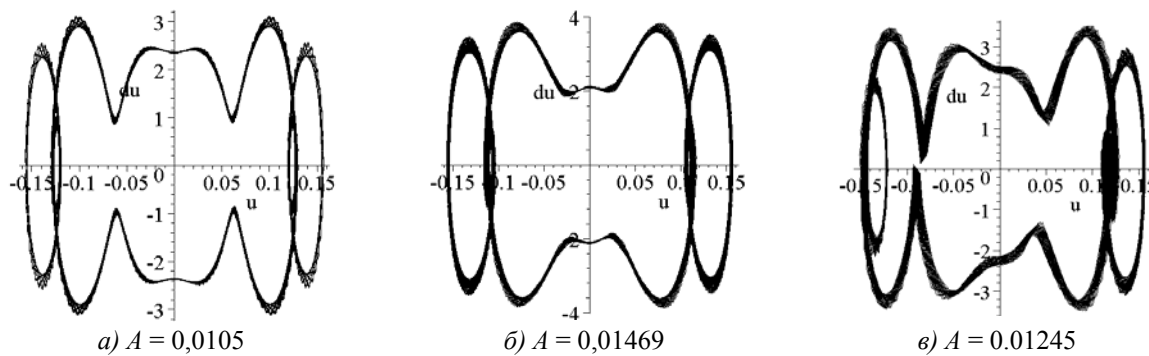


Рис. 5. Фазові траєкторії

для: а) $A = 0,0105$; б) $A = 0,01469$; в) $A = 0,01245$

Для одержання нехаотичних траєкторій коливань вантажу маятника з рухомим підвісом вибір значень параметрів можна здійснити на базі графічного методу проєкційного фокусування. Ці траєкторії дозволяють аналізувати характер одержаних розв'язків.

Список використаних джерел

1. Капица П. Л. Динамическая устойчивость маятника при колеблющейся точке подвеса // ЖЭТФ. — 1951. — Т. 21. — 588 с.
2. Широнос В. Г. Резонанс в физике, химии и биологии. — Ижевск : Удмуртский университет, 2000. — № 1. — 92 с.
3. Бутиков Е. И. Стабилизация перевернутого маятника (к 60-летию маятника Капицы) // Компьютерные инструменты в образовании. — 2010. — № 5. — С. 39—51.
4. Бутиков Е. И. Маятник с осциллирующим подвесом (к 60-летию маятника Капицы) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://butikov.faculty.ifmo.ru/Russian/ParamPendulum.pdf>.
5. Семків О. М. Метод визначання особливих траєкторій коливань вантажу 2-d — пружинного маятника // Вестник ХНАДУ. — № 71. — Харьков : ХНАДУ, 2015. — С. 36—44.
6. Семків О. М., Куценко Л. М. Визначення критичних значень параметрів диференціальних рівнянь коливань за допомогою кривин фазових траєкторій // Сучасні проблеми моделювання. Збірник наукових праць. — Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2015. — С. 82—89.
7. Semkiv O. M. Computer graphics of the oscillation trajectories of 2d spring pendulum weight Stuttgart, Germany — ORT Publishing — European Applied Sciences: challenges and solutions 2015. — С. 63—70.
8. Семків О. М. Особенности геометрической формы колебаний груза 2d- пружинного маятника // Международная конференция по научному развитию в Евразии (Австрия, г. Вена, VII 2015). — С. 217—214.

Leonid KUTSENKO, Oleg SEMKIV
Kharkiv

NOT CHAOTIC TRAJECTORIES OF FLUCTUATIONS OF FREIGHT SIMPLE PENDULUM WITH THE RELATIVE FRAME POINT OF THE SUSPENSION

The method of the choice of values of parameters for receiving not chaotic trajectories of fluctuations of freight of pendulums with the relative frame points of a suspension is given. The method is based on a projective focalizing which substance consists in construction in a phase space of an approximate integral curve of the solution of a set of equations of Lagrange of the second sort, creation of its projection to the coordinate phase plane which forms a phase trajectory, and the choice of value of the "operating" parameter for ensuring not chaotic fluctuations.

Key words: a pendulum with the relative frame point of a suspension, Kapitza's pendulum, the equation of Lagrange 2 sorts, a trajectory of movement of freight of a pendulum.

Леонид КУЦЕНКО, Олег СЕМКИВ
г. Харьков

НЕХАОТИЧЕСКИЕ ТРАЕКТОРИИ КОЛЕБАНИЙ ГРУЗА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА С ПОДВИЖНОЙ ТОЧКОЙ ПОДВЕСА

Приведен метод выбора значений параметров для получения нехаотических траекторий колебаний груза маятников с подвижными точками подвеса. Метод базируется на проекционном фокусировании, сущность которого состоит в построении в фазовом пространстве приближенной интегральной кривой решения системы уравнений Лагранжа второго рода, построения ее проекции на координатную фазовую плоскость, которая образует фазовую траекторию, и выбора значения «управляющего» параметра для обеспечения нехаотических колебаний.

Ключевые слова: маятник с подвижной точкой подвеса, маятник Капицы, уравнение Лагранжа 2-рода, траектория перемещения груза маятника.

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2016

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦЕНТРОЇД НЕКРУГЛИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ЗА ПЕРЕДАВАЛЬНОЮ ФУНКЦІЄЮ

Проведено огляд застосувань механізмів з некруглими зубчастими колесами. Описано вхідні параметри, необхідні для розрахунку пари центроїд. Побудовано геометричні моделі центроїд некруглих зубчастих коліс на основі їх аналітичного опису за передавальною функцією. Наведено приклади зображень пари центроїд зубчастих коліс «нетрадиційної» форми залежно від вигляду передавальної функції.

Ключові слова: геометричне моделювання, зубчасті колеса, аналітичний опис, передавальна функція, центроїди.

У різних галузях машинобудування для передачі обертового руху між паралельними осями зі змінним відношенням кутових швидкостей використовуються механізми з некруглими зубчастими колесами. За допомогою нескладного механізму з некруглими колесами можна відтворити монотонну зростаючу функцію, похідна якої на проміжку відтворення є гладкою функцією з обмеженими додатними значеннями [1].

У машинобудуванні некруглі зубчасті колеса використовуються для передачі руху зі змінним відношенням швидкостей, у приладобудуванні – для відтворення нелінійних функцій, у гідротехніці – для конструювання насосів, лічильників для вимірювання витрат тощо. У механізмі з некруглими зубчастими колесами залежність між кутами повороту ведучого й веденого коліс є нелінійною [4].

Порівнявши характеристики кулачкових механізмів та механізмів з некруглими зубчастими колесами, що використовують для відтворення функцій [1], можна прийти до висновку, що в умовах серійного виробництва коліс і кулачків точність відтворення функцій некруглими колесами є вищою, а відтворені некруглими колесами немонотонні функції є більш складними.

Галузь застосування некруглих зубчастих коліс залишається обмеженою внаслідок складності їх виготовлення за допомогою малоефективних способів нарізання зубців копіюванням або обкочуванням. Але більш прогресивним у цьому розумінні є геометричний метод вирізання зубців за координатами, в тому числі і на верстатах з числовим програмним керуванням [5]. Тому актуальною буде задача аналітичного опису центроїд некруглих зубчастих коліс.

Одним з основних завдань проектування некруглих зубчастих коліс є розрахунок їх центроїд – тобто кривих, що дотикаються одна до одної й перекочуються без ковзання при русі механізму. Крім того, центроїда ведучого колеса – це сукупність миттєвих центрів обертання в системі координат, жорстко пов'язаної з цим колесом. Теоретичні основи опису центроїд розглядалися, наприклад, в роботах Ф. Л. Литвина [4, 5], де наведено основні формули для розрахунку.

Некруглі зубчасті колеса зазвичай задаються [3]: кутом обертання ведучої шестерні $\varphi_1 = \varphi_1(t)$, кутом обертання веденої шестерні $\varphi_2 = \varphi_2(t)$, міжцентровою відстанню $a = \text{const}$. Крім того, задається функція передачі обертання $\Phi(t)$ та її похідна $\eta(t) = \frac{d\Phi}{dt}$.

Припустимо, що обертання ведучого колеса здійснюється з постійною (одиничною) швидкістю. Тоді кутові швидкості коліс визначаються формулами

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_1 = 1; \quad \frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_2 = \eta(t). \quad (1)$$

Як вже зазначалось [1], некругла зубчаста передача призначена для перетворення обертового руху між деталями машин за заданою передавальною функцією $\eta(t)$, де t – час. Визначити передавальну функцію можна як відношення похідних

$$\eta(t) = \frac{d\varphi_2}{dt} / \frac{d\varphi_1}{dt}. \quad (2)$$

Водночас, передавальна функція для кожного фіксованого значення кута повороту φ_1 ведучого колеса є відношенням миттєвих кутових швидкостей коліс в зачепленні. Тому з виразу

$$\eta = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{R_1}{R_2}, \quad (3)$$

можна обчислити миттєві радіуси передачі:

$$R_1(t) = \frac{a \eta(t)}{1 + \eta(t)}; \quad R_2(t) = \frac{a}{1 + \eta(t)}. \quad (4)$$

Сума змінних радіусів R_1 і R_2 центроїд в точці дотику для випадку зовнішнього зачеплення дорівнюватиме:

$$R_1 + R_2 = a, \quad (5)$$

де a – постійна відстань між осями коліс.

Координати миттєвої точки контакту центроїд слід обчислювати за формулами [4]:

$$r_1 = [R \cos \Phi_1, R \sin \Phi_1]; \quad r_2 = [R \cos \Phi_2, R \sin \Phi_2], \quad (6)$$

де Φ_1, Φ_2 – передавальні функції.

З використанням наведених формул завданням буде розробити алгоритм геометричного моделювання центроїд некруглих зубчастих коліс на основі їх аналітичного опису. Для цього залежно від передавальної функції $\Phi(t)$ визначаємо змінні радіуси центроїд в точці їх контакту:

$$R_1 = \frac{a \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right)}{1 + \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right)}; \quad R_2 = \frac{a}{1 + \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right)}. \quad (7)$$

Координати миттєвої точки контакту центроїд

$$r_1 = \left[\frac{a \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right) \cos(t)}{1 + \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right)}, \frac{a \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right) \sin(t)}{1 + \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right)} \right]; \quad r_2 = \left[\frac{a \cos(\Phi)}{1 + \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right)}, \frac{a \sin(\Phi)}{1 + \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right)} \right]. \quad (8)$$

В результаті одержимо параметричні рівняння ведучого (9) та веденого (10) коліс:

$$x_1 = \frac{a \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right) \cos(t)}{1 + \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right)}; \quad y_1 = \frac{a \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right) \sin(t)}{1 + \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right)}; \quad (9)$$

$$x_2 = \frac{a \cos(\Phi)}{1 + \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right)}; \quad y_2 = \frac{a \sin(\Phi)}{1 + \left(\frac{d}{dt} \Phi(t) \right)}. \quad (10)$$

В роботі одержано зображення пари центроїд некруглих коліс за їх параметричними рівняннями та побудовано фази сумісного обертання пари коліс, яка відповідає значенню параметра t .

Далі наведемо приклади зображень пари центроїд зубчастих коліс «нетрадиційної» форми залежно від вигляду передавальної функції $\Phi(t)$, яку описано формулою:

$$\Phi(t) = t + \left(\frac{1}{a} \cos \frac{nt}{4} \right)^{n_1} + \left(\frac{1}{b} \sin \frac{nt}{4} \right)^{n_2}. \quad (11)$$

На рис. 1 наведено приклади зображення графіків передавальної функції (11) залежно від параметрів.

На рис. 2 наведено зображення відповідних центроїд некруглих коліс залежно від параметрів передавальної функції $\Phi(t)$.

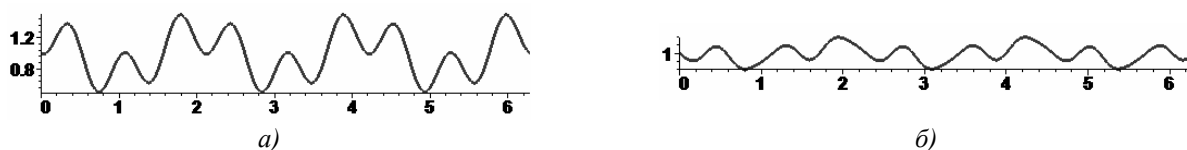


Рис. 1. Графіки передавальної функції $\Phi(t)$ залежно від параметрів:

а) при $a = 3,5$; $b = 2$; $n = 12$; $n_1 = 3$; $n_2 = 3$; б) при $a = 3$; $b = 2$; $n = 11$; $n_1 = 3$; $n_2 = 5$

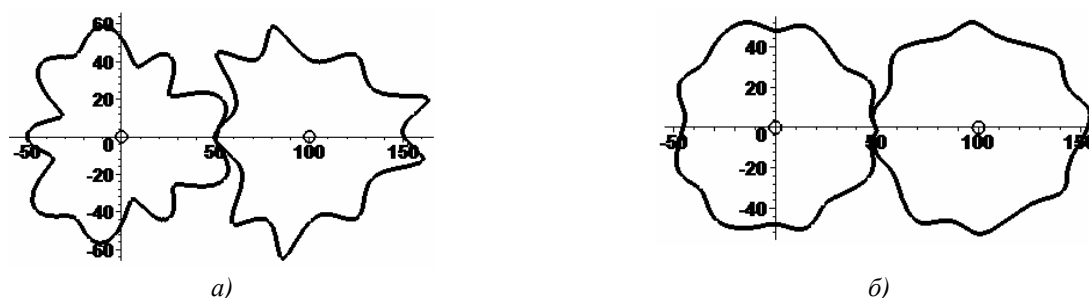


Рис. 2. Зображення пари центроїд залежно від параметрів:

а) при $a = 3,5$; $b = 2$; $n = 12$; $n_1 = 3$; $n_2 = 3$; б) при $a = 3$; $b = 2$; $n = 11$; $n_1 = 3$; $n_2 = 5$

У результаті виконання складеної в роботі програми одержано комп'ютерну анімацію руху пари центроїд зубчастих коліс нетрадиційної форми залежно від вигляду передавальної функції $\Phi(t)$. Це на графічному рівні доводить факт коректного аналітичного опису центроїд за передавальною функцією. Наведемо «кілька прикладів, які ілюструють зазначене.

Передавальна функція (11) при значенні параметрів $a = 2$; $b = 3$; $n = 4$; $n_1 = 2$; $n_2 = 3$ набуває вигляду

$$\Phi(t) = t + \frac{1}{4} \cos(t)^2 + \frac{1}{27} \sin(t)^3. \quad (12)$$

Окремі кадри анімації сумісного обертання пари центроїд зубчастих коліс «нетрадиційної» форми для заданої передавальної функції $\Phi(t)$ наведено на рис. 3.

При значенні параметрів $a = 3$; $b = 2$; $n = 10$; $n_1 = 2$; $n_2 = 2$ передавальна функція (11) набуває вигляду

$$\Phi(t) = t + \frac{1}{9} \cos\left(\frac{5t}{2}\right)^2 + \frac{1}{4} \sin\left(\frac{5t}{2}\right)^2. \quad (13)$$

Кадри анімації обертання центроїд для функції (13) наведено на рис. 4.

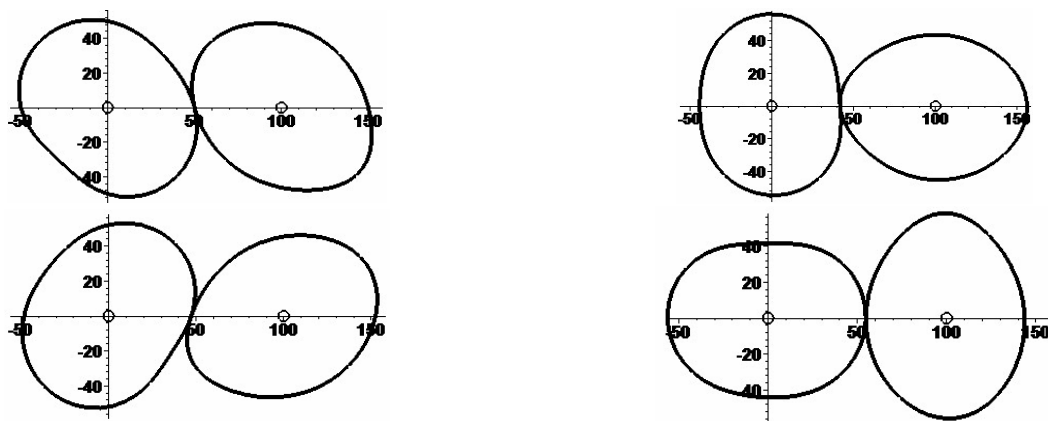


Рис. 3. Кадри анімації для передавальної функції (12)

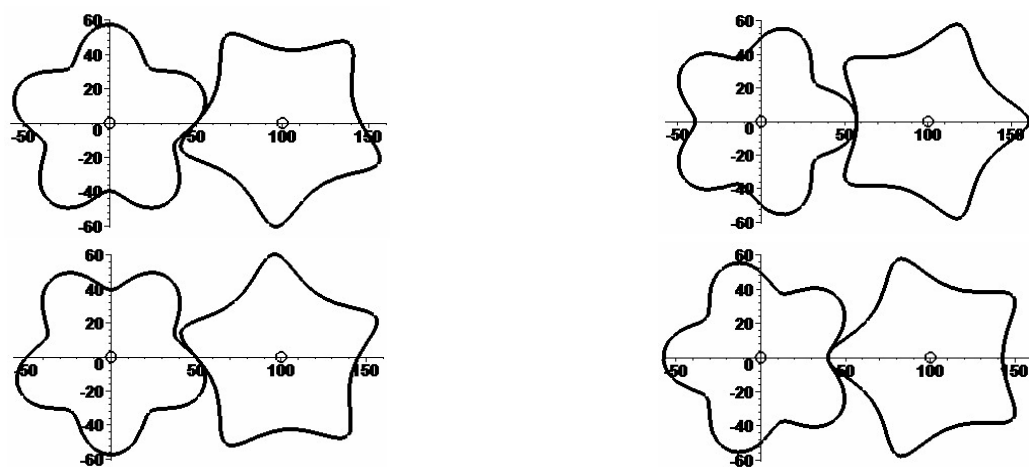


Рис. 4. Кадри анімації для передавальної функції (13)

Коректність запропонованого аналітичного опису центрів некруглих зубчастих коліс підтверджує комп'ютерна анімація руху і для інших передавальних функцій $\Phi(t)$, відмінних від (11).

На рис. 5 наведено зображення кадрів анімації сумісного обертання пари центрів для передавальної функції

$$\Phi(t) = 1 + t + \frac{1}{25} \sin(9t). \quad (14)$$

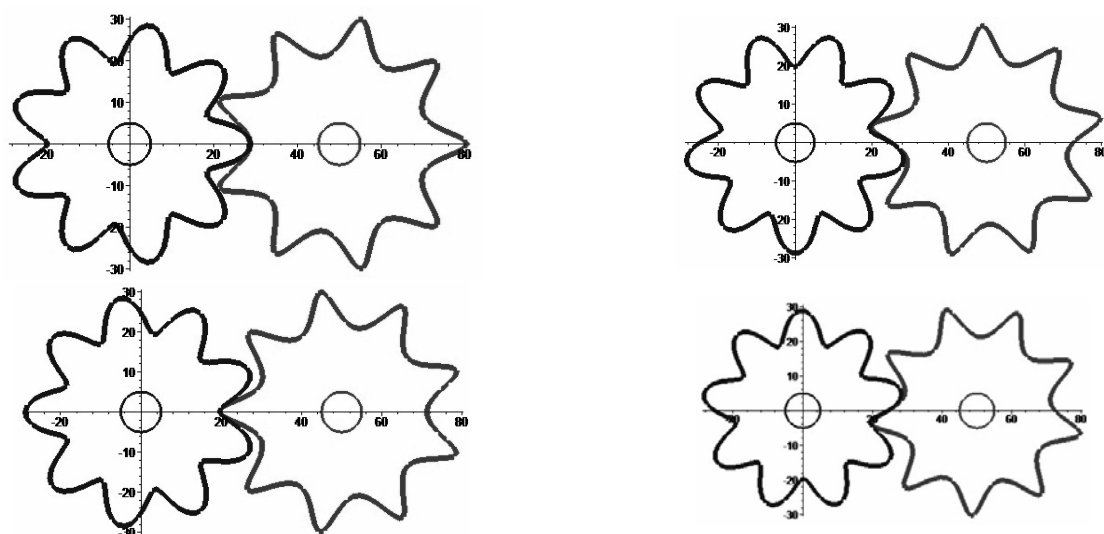


Рис. 5. Кадри анімації сумісного обертання пари центрів для передавальної функції (14)

За результатами дослідження одержано аналітичний опис центроїд некруглих зубчастих коліс за їх передавальною функцією. Завдяки цьому можна визначати і аналізувати їх диференціальні характеристики в точці контакту. Одержані описи центроїд дозволяють створити математичне забезпечення алгоритмів технології виготовлення некруглих зубчастих коліс на верстатах з числовим програмним керуванням.

Список використаних джерел

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский. — М. : Наука, 1975. — 639 с.
2. Воронцова Д. В. Геометричне моделювання профілів роторно-планетарної машини, узгоджених із зубчастою передачею: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.01.01 Прикладна геометрія, інженерна графіка / Д. В. Воронцова. — К., 2008. — 18 с.
3. Легета Я. П. Опис та побудова спряжених центроїд некруглих зубчастих коліс / Я. П. Легета // Сучасні проблеми моделювання. — Мелітополь : МДПУ ім. Богдана Хмельницького, 2014. — Вип. 3. — С. 87—92.
4. Литвин Ф. Л. Некруглые зубчатые колеса / Ф. Л. Литвин. — М. : Машгиз, 1956. — 312 с.
5. Литвин Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф. Л. Литвин. — М. : Наука, 1968. — 584 с.
6. Росоха С. В. Геометричне моделювання об'ємів робочих камер роторно-планетарних трохойдних машин / С. В. Росоха, Л. М. Куценко. — Харків : УЦЗУ, 2007. — 176 с.

Yaroslav LEGETA

Uzhhorod

Olga SHOMAN

Kharkiv

GEOMETRIC MODELING OF CENTROID NONCIRCULAR GEARS BY TRANSFER FUNCTION

There was the review of application of mechanisms with non-circular gears. Described the input parameters required for the calculation of the centroid pair. Constructed geometric models the centroid noncircular gears based on their analytical description of the transfer function. Examples of images the centroid pair of gears "unconventional" forms depending on the form of the transfer function.

Key words: geometric modeling, gears, analytical description, transfer function, centroids.

Ярослав ЛЕГЕТА

г. Ужгород

Ольга ШОМАН

г. Харьков

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕНТРОИД НЕКРУГЛЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПО ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ

Проведен обзор применений механизмов с некруглыми зубчатыми колесами. Описаны входные параметры, необходимые для расчета пары центроид. Построено геометрические модели центроид некруглых зубчатых колес на основании их аналитического описания по передаточной функции. Приведены примеры изображений пары центроид зубчатых колес "нетрадиционной" формы в зависимости от вида передаточной функции.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, зубчатые колеса, аналитическое описание, передаточная функция, центроиды.

Стаття надійшла до редколегії 30.09.2016

ВИЗНАЧЕННЯ ВПОРЯДКОВАНОГО РЯДУ ТОЧОК АПРОКСИМУЮЧОЇ НАПРЯМНОЇ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНОЇ КОНІЧНОЇ ПОВЕРХНІ

Розроблено алгоритм визначення впорядкованого ряду точок апроксимуючої напрямної дискретно представленої конічної поверхні. Точки напрямної були впорядковані за кутовим відхиленням між інцидентними цим точкам твірними і зв'язками сіткових ліній у відповідних їм точках. Наведений приклад роботи розробленого алгоритму.

Ключові слова: дискретно представлена конічна поверхня, напрямна, твірна.

Нехай конічна поверхня представлена точковим каркасом в межах деякого відсіку і координати вершини конуса є відомими. Тоді отримаємо твірні цієї поверхні, провівши прямі лінії через точки відсіку і вершину конуса. Рухаючи точки відсіку вздовж твірних, ми зможемо отримати координати точок поверхні за межами заданого відсіку. Проте інформація про поверхню буде відома лише вздовж цих твірних. Якщо ж вдалося б певним чином отримати дискретно представлену напрямну поверхні, то це дозволило б відтворити конічну поверхню більш детально. Для цього можна використати методи дискретної інтерполяції [2] і загустити ряд твірних до необхідної точності. Також для дискретно представленої напрямної можна виконати згладжувальну сплайн-інтерполяцію. В такому випадку ми зможемо отримати апроксимуюче рівняння континуально заданої напрямної.

Розроблений алгоритм наближеного визначення вершини конуса дискретно представленої поверхні був описаний у статті [1]. Якщо провести твірні через апроксимуючу вершину поверхні і усі точки дискретно представленої поверхні та задати площину, яка не проходить через вершину конуса і перетинається з усіма твірними, наприклад, перпендикулярну до однієї з побудованих твірних, то твірні перетнуть задану площину в певних точках. Ці точки будуть належати плоскій напрямній конічної поверхні. Проте у роботі [1] не пояснюється як саме ці точки впорядковувати.

У роботі поставлено мету – розробити алгоритм визначення впорядкованого ряду точок апроксимуючої напрямної дискретно представленої конічної поверхні.

Визначаємо апроксимуючу дискретно представлену плоску напрямну конічної поверхні. Для цього був використаний той факт, що усі твірні конічної поверхні проходять через її вершину, а значення кута, обчисленого між суміжними парами твірних, змінюється плавно.

Алгоритм наближеного визначення дискретно представленої плоскої напрямної конічної поверхні складається з таких дій.

1. Визначаємо координати точок цієї напрямної. Для цього проводимо твірні через апроксимуючу вершину поверхні і усі точки дискретно представленої поверхні. Задаємо площину, яка не проходить через вершину конуса і перетинається з усіма твірними, наприклад перпендикулярну до однієї з побудованих твірних. Визначаємо координати точок, в яких твірні перетинають площину.

2. Впорядковуємо направляючі вектори твірних конічної поверхні, отримані у пункті 1, і відповідні їм точки напрямної та точки заданої точки дискретно представленої поверхні. Процес впорядкування точок точки дискретно представленої поверхні буде показаний на прикладі відсіку дискретно представленої поверхні з трикутними комірками на прямокутному плані. Він для більшої наочності зображений у вигляді плоского відсіку дискретно представленої поверхні з пронумерованими вершини (рис. 1).

- 2.1. Визначаємо найбільш віддалену від інших точку напрямної. Для цього для кожної точки обчислюємо суму відстаней між цією точкою і усіма іншими точками. На рис. 1 точка заданого відсіку поверхні, що відповідає найбільш віддаленій від інших точці напрямної, має номер 33 (на рис. 2 позначена квадратом). Призначаємо цій точці перше місце (рис. 2) у впорядкованому ряді точок апроксимуючої дискретно представленої напрямної.

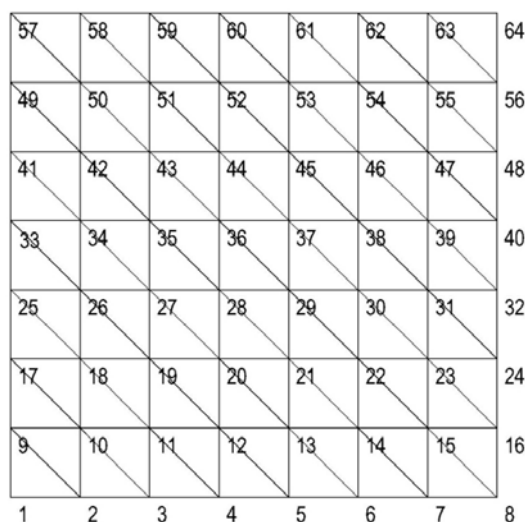


Рис. 1. Відсік дискретно представленої поверхні з пронумерованими вершинами

2.2. Кривина вздовж напрямної кінчної поверхні змінюється плавно, тому кутове відхилення між суміжними твірними буде невелике. Використовуючи цю властивість, впорядковуємо усі інші направляючі вектори апроксимуючих твірних і відповідні для них точки напрямної та точки ДПП: направляючі вектори впорядковуються за мінімальним кутовим відхиленням між крайньою впорядкованою твірною і твірними, побудованими в точках ДПП, інцидентних точкам уже впорядкованих твірних. Кожну впорядковану точку ДПП позначаємо кругом і призначаємо їй порядковий номер (рис. 2). Якщо під час цих дій умовно ділити всі точки на точки з впорядкованими твірними і точки – з не впорядкованими, то окремі точки або групи точок можуть бути пропущені. Ці точки не мають жодної сіткової лінії, яка була б інцидентна частині відсіку з не впорядкованими твірними. Якщо це трапляється, то у даному підпункті алгоритму апроксимуючі твірні, що відповідають цим точкам, більше не використовуються. На рис. 1 ці точки мають номери 1, 6, 9, 17, 25, 31. Це найчастіше трапляється у випадках, коли точки відсіку не належать якійсь певній кінчній поверхні. Також точки можуть бути пропущені, коли напрямна є не замкненою і найбільш віддалена від інших точка напрямної, визначена у підпункті 2.1, не є крайньою. На рис. 2 такі точки мають номери 1, 9, 17, 25. Отже, після виконання підпункту 2.2 точки розмістилися в такому порядку: 33, 2, 10, 18, 26, 41, 49, 57, 34, 3, 11, 19, 42, 50, 27, 4, 12, 58, 35, 20, 43, 5, 51, 59, 28, 36, 13, 21, 44, 52, 29, 37, 60, 14, 22, 45, 30, 7, 15, 53, 61, 38, 23, 8, 46, 54, 62, 16, 24, 39, 47, 55, 32, 40, 48, 63, 56, 64.

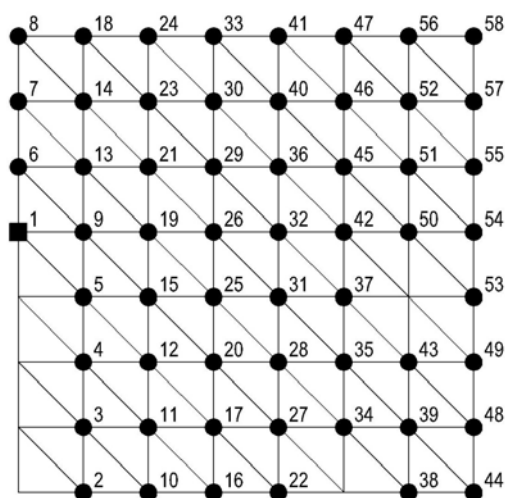


Рис. 2. До визначення неповного ряду направляючих векторів апроксимуючих твірних

2.3. Доповнюємо впорядкований ряд направляючих векторів апроксимуючих твірних, пропущеними векторами. На рис. 1 цим векторам відповідають вектори твірних, отриманих для точок 1, 6, 9, 17, 25, 31 (на рис. 3 позначені квадратами).

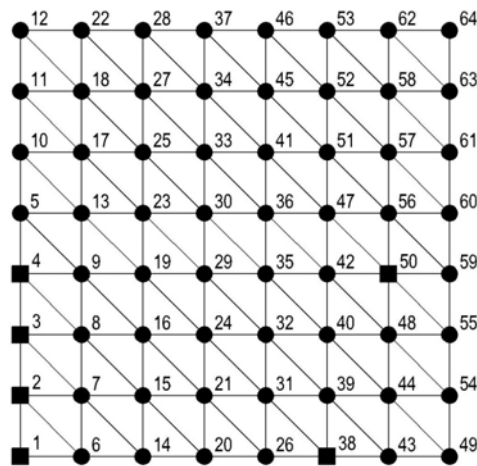


Рис. 3. До визначення повного ряду направляючих векторів апроксимуючих твірних

2.3.1. Даний підпункт виконується тоді, коли перша впорядкована точка ДПП (на рис. 1 має номер 33, а на рис. 2 позначена квадратом) має сітковий зв'язок з пропущеними точками. В іншому випадку переходимо одразу до підпункту 2.3.2.

Впорядковуємо пропущені точки, що мають сітковий зв'язок з точкою ДПП, яка відповідає найбільш віддаленій від інших точок напрямної і першому за порядком направляючому вектору впорядкованого ряду твірних. На рис. 1 такі точки мають номери 1, 9, 17, 25. Розглядаємо трикутні сіткові комірки, до чийх вершин входять вершини з даними номерами. Фрагмент відсіку, який містить дані точки, показаний на рис. 4. Впорядковуємо вектори, які відповідають пропущеним точкам виділеної частини ДПП (на рис. 2 позначені квадратами). Процес впорядкування є аналогічним описаному у підпункті 2.2. При цьому першим за порядком вектором вважаємо вектор, що є найпершим у впорядкованому ряді твірних, отриманому у підпункті 2.2. Після виконання підпункту 2.3.1 точки розмістилися в такому порядку: 33, 25, 17, 9, 1.

Після виконання цих дій доповнюємо впорядкований ряд направляючих векторів, отриманих у підпункті 2.2, впорядкованим рядом векторів, отриманим у підпункті 2.3.1. Додаємо по черзі відповідні підпункту 2.3.1 вектори (починаючи з другого вектору) на початок списку векторів, підпункту 2.2. Після цих дій точки розмістилися в такому порядку: 1, 9, 17, 25, 33, 2, 10, 18, 26, 41, 49, 57, 34, 3, 11, 19, 42, 50, 27, 4, 12, 58, 35, 20, 43, 5, 51, 59, 28, 36, 13, 21, 44, 52, 29, 37, 60, 14, 22, 45, 30, 7, 15, 53, 61, 38, 23, 8, 46, 54, 62, 16, 24, 39, 47, 55, 32, 40, 48, 63, 56, 64.

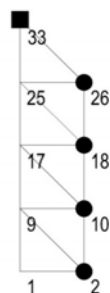


Рис. 4. До впорядкування пропущених точок ДПП

2.3.2. Впорядковуємо решту пропущених у підпункті 2.2 точок. На рис. 1 ці точки мають номери 6 і 31, а на рис. 3 – позначені квадратами. Серед точок, пропущених у підпункті 2.2, визначаємо точку з найбільшою кількістю інцидентних їй не пропущених точок відсіку ДПП. Серед векторів впорядкованого ряду визначаємо пари сусідніх векторів, у яких фігурують вектори, що відповідають точкам околу вибраної точки. Для кожної вибраної пари векторів обчислюємо суму кутів відхилень між кожним з двох векторів і вектором, що відповідає досліджуваній точці. Визначаємо мінімальну суму кутів відхилень. Розміщаємо досліджуваній напрямний вектор між векторами, що відповідають цій найменшій сумі. Ця операція виконується по черзі для кожного з пропущених векторів. На рис. 3 показаний приклад відсіку ДПП з номерами точок, що відповідають порядку розміщення напрямних

векторів апроксимуючих твірних. Отже, після виконання підпункту 2.3 точки розмістилися в такому порядку: 33, 2, 10, 18, 26, 41, 49, 57, 34, 3, 11, 19, 42, 50, 27, 4, 12, 58, 35, 20, 43, 5, 51, 59, 28, 36, 13, 21, 44, 52, 29, 37, 60, 6, 14, 22, 45, 30, 7, 15, 53, 61, 38, 23, 8, 46, 54, 62, 16, 24, 31, 39, 47, 55, 32, 40, 48, 63, 56, 64.

Слід зазначити, що даний алгоритм не дозволяє отримати замкнену напрямну кінчної поверхні: в цій напрямній буде бракувати однієї ланки.

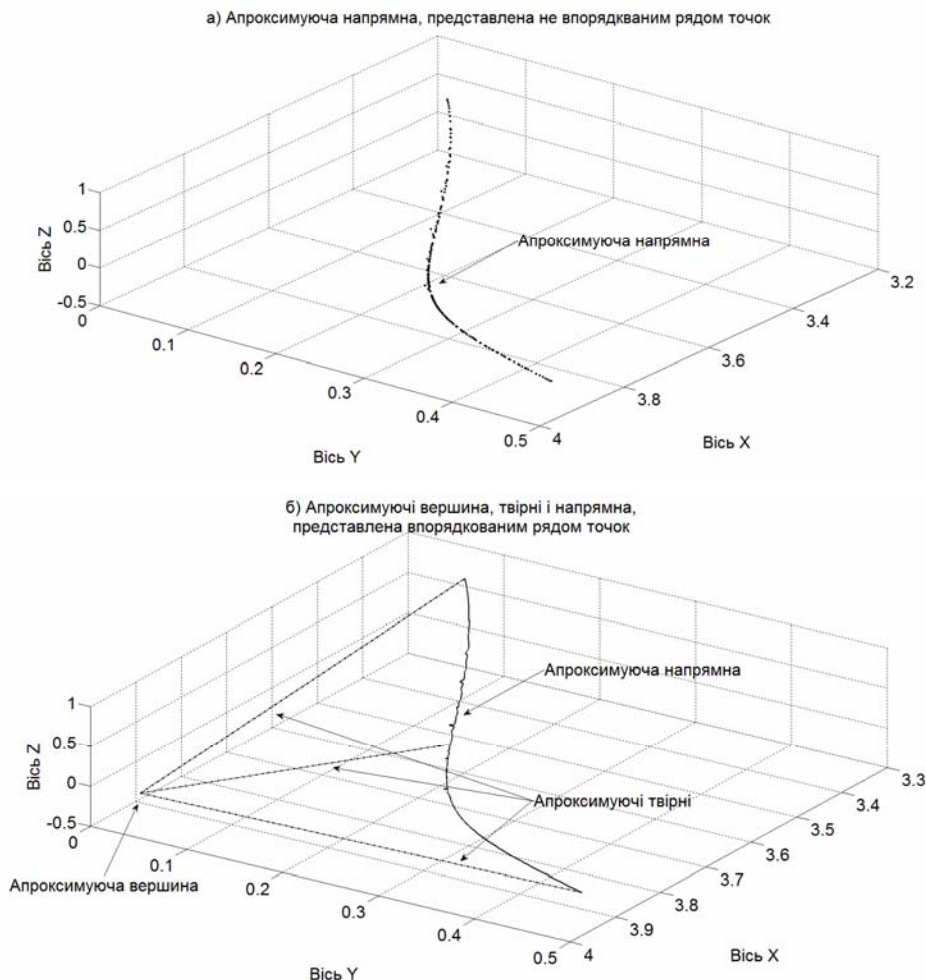


Рис. 5. Результати роботи розробленого алгоритму

Точність і працездатність розробленого алгоритму була перевірена на десяти різних кінчних поверхнях. Досліджувані поверхні обиралися таким чином, щоб їхні плоскі напрямні мали різний характер зміни кривини.

Спершу на площині $z = 0$ задавалась необхідна сітка, яка складалась з трикутних комірок. За одиницю довжини був прийнятий 1 м. Розміри сторін відсіку складали $3,5 \times 3,5$ м. Крок точок по осі абсцис і ординат дорівнював 0,25 м. Після цього в точках відсіку обчислювалася апліката. Таким чином отримувалася дискретно представлена поверхня. Оскільки рівняння поверхонь були відомими, то була можливість порівняти дійсні значення з наближеними.

На рис. 5, а і б продемонстровані результати роботи алгоритму на прикладі відсіку кінчної поверхні, описаної рівнянням (рис. 6):

$$z = \frac{360 \cdot (4-x)^3}{4 \cdot (64 \cdot y^2 + 36 \cdot (4-x)^2)} - \frac{5 \cdot (4-x)}{4}.$$

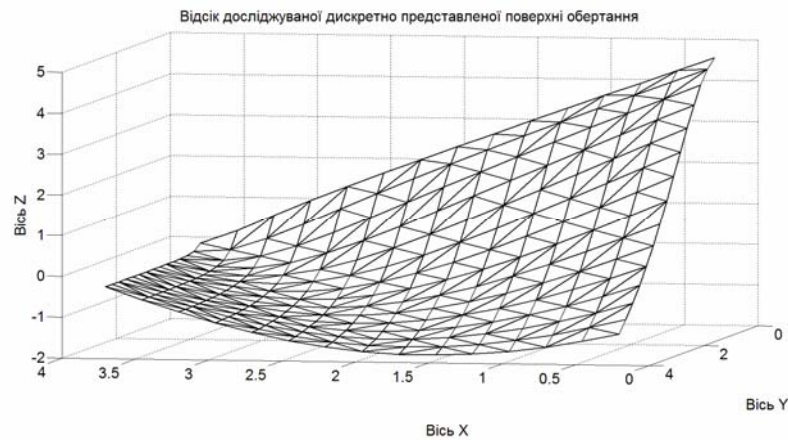


Рис. 6. Відсік досліджуваної дискретно представленої поверхні

У статті розроблено алгоритм наближеного визначення апроксимуючої плоскої напрямної дискретно представленої кіничної поверхні. Надалі напрямну можна загустити методами дискретної інтерполяції. Також для твірної можна виконати згладжувальну сплайн-інтерполяцію і отримати рівняння апроксимуючої континуально заданої поверхні. В подальшому планується розробити алгоритми наближеного визначення визначників інших дискретно представлених поверхонь.

Список використаних джерел

1. Літницький С. І. Наближене визначення осі обертання і твірної дискретно представленої поверхні обертання [Текст] / С. І. Літницький, Є. В. Пугачов // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет. — Вип. 4, Т. 56. — Мелітополь : ТДАТУ, 2013. — С. 118–125.
2. Найдиш В. М. Основи прикладної дискретної геометрії. — Мелітополь : Люкс, 2007. — 193 с.

Сергей ЛИТНИЦКИЙ

г. Ровно

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПОРЯДОЧЕННОГО РЯДА ТОЧЕК АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕННОЙ КОНИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Разработан алгоритм определения упорядоченного ряда точек аппроксимирующей направляющей дискретно представленной конической поверхности. Точки направляющей были упорядочены по угловым отклонениям между инцидентными этим точкам образующими и связями сетевых линий в соответствующих им точках. Приведен пример работы разработанного алгоритма.

Ключевые слова: дискретно представленная коническая поверхность, направляющая, образующая.

Sergii LITNITSKIY

Rivne

DEFINITION OF DISCRETELY PRESENTED CONICAL SURFACE APPROXIMATING DIRECTING POINTS ORDERED NUMBER

The algorithm of discretely presented conical surface approximating directing points ordered number is made. Directing points are ordered for angular deviation between generating and grid lines connections of these points. Example of algorithm work is shown.

Key words: discretely presented conic surface, directing, generatrix.

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2016

МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В РАЗРЯДНОІМПУЛЬСНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Проектування устаткування для розрядноімпульсних технологій передбачає аналіз і синтез процесів, що протікають як у всій установці в цілому, так і в окремих її блоках. При цьому потрібен детальний опис умов, виконання яких дозволить адекватно описати досліджуваний об'єкт формалізованою мовою на стадії моделювання, аналізувати різні моделі технологічних процесів, замінювати натурні випробування обчислювальним експериментом, тобто знижувати часові і матеріальні витрати на проектування. При обчислювальному експерименті можна віртуально змінювати не тільки параметри технологічного режиму, а й конструктивні параметри установки, тобто застосовувати методи геометричного моделювання.

Ключові слова: розрядноімпульсна технологія, електричний розряд, математична модель, ударна хвиля, акустичне поле.

Для імпульсних технологічних процесів характерне наступне: наявність потужних висококонцентрованих потоків енергії; істотна нерівновага процесів; високі швидкості навантаження об'єкта обробки; наявність складного тепломасообміну; можливість існування декількох різних фаз в об'єкті обробки; зміна структури і властивостей об'єкта обробки в процесі навантаження [2].

Повне врахування цих характеристик в ідеалізованих і матеріальних моделях істотно ускладнює проектування, оптимізацію і контроль імпульсних технологічних процесів, а також створює великі труднощі при випробуваннях і налагодженні технологічних комплексів. Тому при моделюванні особлива увага приділяється оптимальному вибору способів навантаження об'єкта висококонцентрованими потоками енергії, які можна розділити на наступні класи: поверхневі і об'ємні; імпульсні і імпульсно-періодичні; зосереджені і розподілені; нерухомі і рухомі. Для різних класів модельні задачі вирішуються різними методами і мають різні ступені складності.

Характерні особливості імпульсних технологій обмежують можливості точного математичного опису процесів. Таким чином, повне врахування цих та інших особливостей, що характеризують імпульсні процеси, при моделюванні може виявитися неможливим. У цьому випадку використовують методи ідеалізації та абстрагування. Безумовно, що критерієм адекватності одержуваної інформації про реальні процеси, що протікають в імпульсних системах, є натурний експеримент. Але і для постановки натурального експерименту використовуються методи моделювання, спрямовані на пошук місця розташування чутливих точок технологічного процесу, діапазонів сталого функціонування, ступеня впливу різних керуючих факторів.

В багатьох розрядноімпульсних технологіях застосовується циліндрична розрядна камера з різноманітними електродними системами. Тому в статті розглядається модель електровибуху циліндричної симетрії [3].

Наприклад, імпульсний вплив при очищенні свердловин здійснюється передачею імпульсу тиску стовпа води в свердловині її фільтру. Імпульс тиску передається фільтру у вигляді ударної і акустичних хвиль, які супроводжуються перехідними процесами. Ударна хвиля створюється швидким (близько 1 ... 100 мкс) виділенням енергії в середовищі, що піддається імпульсному впливу.

Розрядна камера представляє собою циліндричну порожнину з жорсткими підставами і бічною поверхнею з перфораційними отворами. Отримані результати показують, що головним фактором електророзрядного впливу на тендітні відкладення при декольматації свердловини є амплітуда хвилі тиску. Отже, при обробці треба прагнути до максимально можливої амплітуді хвилі тиску, що можна досягти на режимі електророзрядного впливу з оптимальним МЕР за амплітудою хвилі тиску [4].

Руйнівна дія ударних і акустичних хвиль, що генеруються розрядним каналом, що розширюється у воді, використовується в установках очищення внутрішніх поверхонь труб. Руйнування твердих мінеральних відкладень відбувається за рахунок здвигової напруги і напруги розтягування, що вини-

кає в них при взаємодії хвиль з кордонами розділу рідини-відкладення-труба і здатних їх відшарувати. Така ж технологія застосовується для розвальцьовування у трубних ґратах теплообмінників. Процес запресовки труб в трубних ґратах теплообмінних апаратів полягає в утворенні натягу між трубою і трубними ґратами після деформації їх імпульсним тиском, що створюється при електричному розряді або вибуху зволікання в спеціальному патроні, встановленому усередині труби.

Існує значна кількість робіт (їх огляд наведено в [5]), присвячених оцінці гідродинамічних течій при електричному розряді у воді (ЕРВ). Основними прийомом для відшукування аналітичного рішення гідродинамічних задач є застосування методу інтегральних перетворень (Фур'є, Лапласа, Ханкеля) до хвильовому рівнянню про одній або кільком змінним завдання, що дозволяють отримати алгебраїчну систему рівнянь, або знизити розмірність вихідної системи диференціальних рівнянь. Для врахування нелінійних ефектів у роботі [3] було запропоновано використовувати наближення Кірквуда-Бете, справедливе лише в області фронту ударної хвилі. При обчисленні параметрів хвостовій частині хвилі і гідродинамічних характеристик каналу розряду такий підхід виявився неприйнятним.

Комплексний аналіз нелінійних ефектів, що виникають при ЕРВ, проводився з використанням системи рівнянь газової динаміки. В [4] розв'язання проводилось методом характеристик, що дозволяло отримати детальний опис руху рідини. Та при розрахунках динаміки рідини в областях з наявністю безлічі хвильових фронтів, зокрема, в областях з відбиваючими поверхнями, метод характеристик стає малоприматним.

Найбільше поширення при інтегруванні системи рівнянь газової динаміки отримала явна кінцево-різницева схема С. К. Годунова [1], що дає можливість явно виділити поверхні розриву і добре адаптується до особливостей течій.

У роботі розглядається електричний розряд у порожнинах циліндричної форми. Передбачається, що в їх внутрішніх областях, заповнених рідиною, на осі симетрії виробляються електричні розряди. Кінцева мета на даному етапі - достовірно визначити вид імпульсу тиску на поверхнях, оточуючих описані конструкції.

Вводяться наступні припущення і допущення фізичного і геометричного характерів:

- в початковий момент часу вже сформований канал електричного розряду, що представляє собою циліндр кінцевої довжини, це дозволяє звести задачу до розгляду вісесиметричного випадку;
- рідина, що заповнює і навколишнє конструкцію, ідеальна й стислива;
- рух її безвихровий;
- для опису руху навколишньої рідини припустимо акустичне наближення;
- деформування стінок випромінювача відбувається пружно, згідно закону Гука для ізотропних середовищ;
- радіус циліндра не менший, ніж на порядок, перевищуємо товщину пружних стінок.

Поблизу плазмової порожнини, що утворюється при електричному розряді у воді, можуть формуватися ударні хвилі з великою амплітудою, що викликає необхідність залучення нелінійних співвідношень для їх опису. Використовується система рівнянь газової динаміки в циліндричній системі координат roz [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(F_1 r)}{\partial t} + \frac{\partial(F_2 r)}{\partial z} + \frac{\partial(F_3 r)}{\partial r} &= F_4, \quad F_1 = [\rho, \rho u_r, \rho u_z, \varepsilon]^T, \\ F_2 &= [\rho u_z, \rho u_z u_r, \rho u_z^2 + p, (\varepsilon + p) u_z]^T, \quad F_3 = [\rho u_r, \rho u_r^2 + p, \rho u_z u_r, (\varepsilon + p) u_r]^T, \\ F_4 &= [0, p, 0, 0]^T, \quad \varepsilon = \rho \left[E + (u_z^2 + u_r^2) / 2 \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

Система рівнянь (1) замикається рівнянням стану, яке для води в широкому діапазоні зміни тисків має вигляд (2):

$$E = \frac{p + \gamma B}{\rho(\gamma - 1)} - \frac{c_0^2}{\gamma - 1} \quad (2)$$

де $B = \rho_0 c_0^2 / \gamma$, при цьому для води $\rho_0 = 10^3 \text{ кг/м}^3$; $c_0 = 1460 \text{ м/с}$; $\gamma = 7,15$; $B = 298,6 \text{ МПа}$.

Моделюванню умов на границі «вода - плазма» приділено значну увагу у літературі [4, 5]. У даному випадку використовується один з найпростіших способів завдання крайових умов такого типу, що передбачає, що заздалегідь відомі значення енергії E_p , що вводиться в канал розряду, і час її введення τ_p . Тоді зв'язок між енергетичними характеристиками розряду і гідродинамічними параметрами здійснюється за допомогою рівняння балансу енергії [4]:

$$\frac{\gamma_{\Pi} p_{\Pi}}{\gamma_{\Pi} - 1} \dot{V}_{\Pi} + \frac{V_{\Pi}}{\gamma_{\Pi} - 1} \dot{p}_{\Pi} = N_{\Pi}(t), \quad (3)$$

де $\gamma_{\Pi} = 1,26$ - ефективний показник адіабати плазми; для потужності $N_{\Pi}(t)$ встановлено закон введення

$$N_{\Pi}(t) = \begin{cases} \frac{4t}{\tau_p^2} E_p, & \text{при } 0 \leq t \leq 0,5\tau_p \\ \frac{4(\tau_p - t)}{\tau_p^2} E_p, & \text{при } 0,5\tau_p < t \leq \tau_p \\ 0, & \text{при } \tau_p < t. \end{cases} \quad (4)$$

На внутрішній поверхні циліндра задовольняються умови динамічної сумісності між нормальними швидкостями рідини U і тіла, що деформується тіло u_{ξ} і тиском p_1^* на поверхні розриву [1]

$$p_1^* = p - a(U - u_{\xi}), \quad (5)$$

де a - масова швидкість, що визначається з співвідношень:

$$a = \begin{cases} \sqrt{\frac{\rho}{2} [(\gamma + 1)(p_1^* + B) + (\gamma - 1)(p + B)]}, & \text{при } p_1^* \geq p; \\ \frac{\rho c_0 (\gamma - 1)}{2\gamma} \left(1 - \frac{p_1^* + B}{p + B}\right) / \left[1 - \left(\frac{p_1^* + B}{p + B}\right)^{\frac{\gamma - 1}{2\gamma}}\right], & \text{при } p_1^* < p. \end{cases} \quad (6)$$

У разі, якщо перешкода, з якою взаємодіє внутрішня хвиля тиску, нерухома в рівнянні (5) покладається $u_{\xi} = 0$.

Для чисельного розв'язання наведеної системи рівнянь, використовується метод кінцевих різниць. Інтегрування системи рівнянь (1-3) здійснюється за допомогою явної двошарової схеми С. К. Годунова [1], що допускає розрахунок у рухливих сітках і дозволяє явно виділити характерні розриви - фронт ударної хвилі і поверхні каналу розряду.

Метод отримання розв'язання рівнянь (1) полягає в інтегруванні по деякому об'єму ω в просторі r, z, t :

$$\iint_{\chi} F_1 r dr dz + F_2 r dr dt + F_3 r dz dt = \iiint_{\omega} F_4 dr dz dt, \quad (11)$$

де χ - поверхня, що обмежує об'єм ω .

Початкове положення зовнішнього кордону задається певною мірою довільно поблизу каналу розряду. Розмазана по рухомій сітці ударна хвиля, що рухається з надзвуковою швидкістю, незабаром наздоганяє зовнішню межу і надалі збігається з нею. Якщо зовнішня межа при $t = 0$ розташована не далі двох - п'яти радіусів каналу розряду, то вихід ударної хвилі на зовнішній кордон відбувається за короткий час, і вибір початкового положення кордонів не впливає на рішення вже в ближній до каналу зоні рідини. Гідродинамічні параметри всередині розрахункової області приймають як для

незбуреної рідини. В даній роботі пропонується використовувати на зовнішньому кордоні розрахункової області умови, які не генерують відображену всередину хвилю.

Для конкретних розрахунків досліджувались хвильові процеси, що відбувалися при розряді всередині циліндру радіуса $R = 0,24$ м і довжини $2L = 0,48$ м. Матеріал, з якого виготовлений циліндр, - сталь з параметрами: $E' = 2 \cdot 10^{11}$ Па; $\mu = 0,3$; $\rho_M = 7800$ кг/м³. Товщина оболонки $h = R/120$. Характеристики ЕРВ: довжина каналу розряду $l_p = 0,04$ м; $E_p = 4,5$ кДж; $\tau_p = 30$ мкс.

Результати розрахунків наведено на рис. 1–2 Тут початковий момент часу $t = 0$ відповідає торкання бічній поверхні циліндра хвильової стиснення. Рис. 1 ілюструє тиск на внутрішній поверхні циліндричної оболонки, а рис. 2 в її серединному перетині. Варіювалася також товщина циліндру – вона становила $R/60$ (криві 1), $R/120$ (криві 2) і $R/240$ (криві 3).

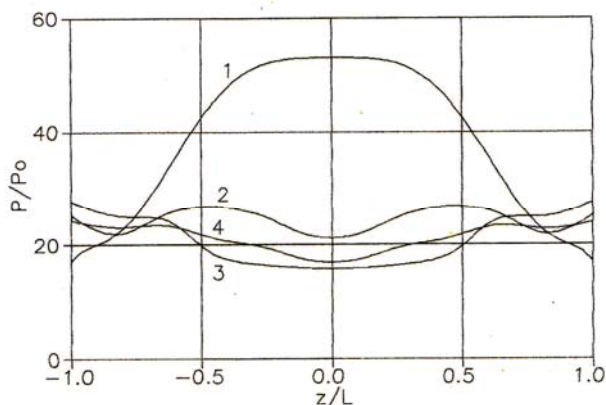


Рис. 1. Розподіл тиску уздовж внутрішньої поверхні циліндра

На рис. 2 розподіл тиску представлено в моменти $t = 40, 100, 120$ мкс (криві 1, 2, 3). Збурення різних ділянок внутрішньої поверхні проводиться не синхронно. Тому в початковий період взаємодії хвилі стиснення з оболонкою різко зростає тиск у центральній точці $(R; 0)$. Потім, у міру розповсюдження хвиль в матеріалі конструкції, тиск в центрі знижується, а навантаження на краю оболонки зростає.

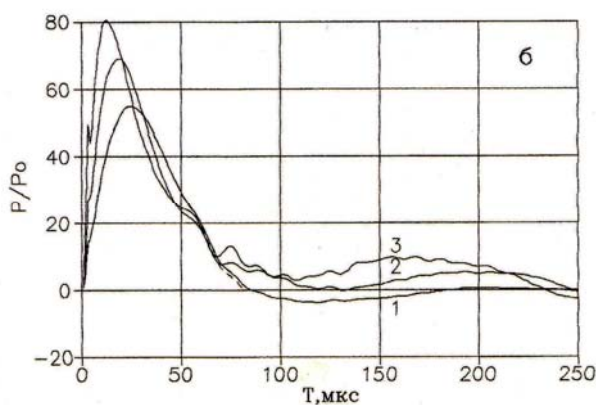


Рис. 2. Тиск на поверхні циліндра в його серединному перерізі

Список використаних джерел

1. Барбашова Г. А., Иванов А. В. Расчет двумерного нестационарного течения жидкости при подводном электрическом взрыве проволоки конечной длины [Текст] // Гидромеханика. — 1986. — Вып. 53. — С. 16—19.
2. Замышляев С. В., Яковлев Ю. С. Динамические нагрузки при подводном взрыве [Текст]. — Л. : Судостроение, 1967. — 387 с.
3. Иванов В. В. О погрешностях, возникающих при исследовании цилиндрических подводных электрических взрывов в приближении Кирквуда Бете [Текст] // Физика горения и взрыва. — 1981. — № 3. — С. 142—143.
4. Наугольных К. А., Рой Н. А. Электрические разряды в воде [Текст]. — М. : Наука, 1971. — 151 с.
5. Поздеев В. А. Прикладная гидродинамика электрического разряда в жидкости [Текст]. — К. : Наук. думка, 1980. — 192 с.

Alexander MELNIK
Nikolaev

SIMULATION OF HYDRODINAMIC PROCESSES IN RAZRYADNOIMPULSNIH TECHNOLOGY

Designing of equipment for razryadnoimpulsnyh technology involves analysis and synthesis processes that occur both during the entire installation as a whole and in its individual blocks. It should be a detailed description of the conditions which will allow to adequately describe the object under study formalized language at the modeling stage, analyze the different models of technological processes, replacing full-scale tests of computational experiments, that is, to reduce the time and costs for the design. When computing experiment can virtually change not only the parameters of the technological mode, but the installation and design parameters, that is to apply the methods of geometric modeling.

Key words: razryadnoimpulsnaya technology, electrical discharge, a mathematical model, the shock wave, the acoustic field.

Александр МЕЛЬНИК
Николаев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЗРЯДНОИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Проектирование оборудования для разрядноимпульсных технологий предполагает анализ и синтез процессов, протекающих как во всей установке в целом, так и в отдельных ее блоках. При этом нужно детальное описание условий, выполнение которых позволит адекватно описать исследуемый объект формализованным языком на стадии моделирования, анализировать различные модели технологических процессов, заменять натурные испытания вычислительным экспериментом, то есть снижать временные и материальные затраты на проектирование. При вычислительном эксперименте можно виртуально менять не только параметры технологического режима, но и конструктивные параметры установки, то есть применять методы геометрического моделирования.

Ключевые слова: разрядноимпульсная технология, электрический разряд, математическая модель, ударная волна, акустическое поле.

Стаття надійшла до редколегії 30.09.2016

ЗАСТОСУВАННЯ ПАКЕТУ ПРОГРАМ «FEMLAB» ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ГІДРОАКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАЧА

Параметричний гідролокатор дозволяє ефективно вести пошук морських родовищ нафти і газу, скупчень риби та ін. Особливою проблемою при створенні параметричних систем є формування у воді сигналів накачування. Приладом для формування хвиль накачування може бути електророзрядний випромінювач виконаний у вигляді масивного сферичного відбивача з введеними в нього разрядниками в ізоляторах. При математичному моделюванні просторовість, нелінійність і нестационарність випромінюваних хвиль призводять до необхідності розв'язання складних крайових задач нелінійної гідроакустики, яке можливе тільки із застосуванням комп'ютера.

Математичний пакет FEMLAB – потужне інтерактивне середовище для моделювання і розв'язання наукових і технічних проблем, заснованих на диференціальних рівняннях в часткових похідних. У даній статті розглянуті методи моделювання крайових задач гідроакустики в системі Femlab.

Ключові слова: гідроакустична випромінювальна система, акустичний тиск, електричний розряд, математична модель, акустичне поле, пакет програм.

Параметричні випромінювачі і приймачі звуку це пристрої, засновані на використанні ефекту генерації комбінаційних тонів при взаємодії звукових хвиль, в яких роль випромінюючої (або приймальної) антени грає область середовища, де відбувається нелінійна взаємодія хвиль (рис. 1). Особливою проблемою при створенні параметричних систем є формування у воді сигналів накачування.

Приладом для формування хвилі накачування може бути електророзрядний випромінювач виконаний у вигляді циліндра з введеними в нього разрядниками в ізоляторах. При включенні генератора імпульсних струмів на робочому проміжку локатора виникає електрогідролінійний удар, який служить джерелом акустичних хвиль [2].

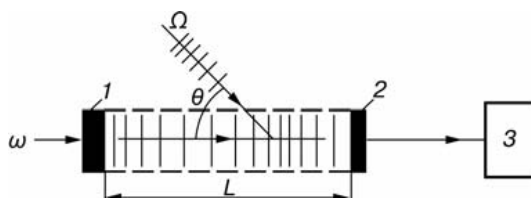


Рис. 1. Схема параметричного випромінювача:

ω – частота накачки; Ω – частота сигналу; 1, 2 – випромінювач; 3 – прийомник

При дослідженні поширення нестационарних хвиль, які утворились в результаті функціонування акустичних випромінювачів, як правило, використовується один з двох підходів, які суттєво обмежують сферу застосування отриманих результатів. Перший з них застосовується при визначенні акустичного сигналу, прийнятого від випромінювача в безмежній або частково обмеженій рідині на великій відстані від джерела збурення. Для цього підходу характерна ідеалізація геометричної форми випромінювача або профілю випромінюваного імпульсу.

У більшості випадків розглядаються точкові джерела, а профілі хвиль тисків апроксимуються деяким набором елементарних функцій. Реальні ж випромінювачі містять ряд відображень і заломлюючих поверхней, що обумовлює складну форму імпульсу тиску і його просторову неоднорідність.

Розрахунок поля тиску нестационарного випромінювача можна здійснити якщо відомі значення звукового тиску, а також його просторових і часових похідних на деякій поверхні, що охоплює випромінювач. Зазначені величини знаходять з рішення задачі про поширення хвиль.

Задачам визначення полів випромінювачів присвячена велика кількість літературних джерел. Достить вказати монографії [1, 4], що містять вирішення різних задач, причому в цих роботах містяться огляди, які, зокрема, обіймають і питання випромінювання звукових хвиль. Інтерес до цієї тематики в наш час, як і раніше, залишається високим, тому що, незважаючи на ясність фізики процесу випромінювання, способи розрахунку конкретних пристроїв і генеруються ними звукових полів вельми складні і вимагають, як правило, значних ресурсів ЕОМ.

Традиційним у разі стаціонарних задач і найбільш використовуваним підходом є їх зведення до інтегрального рівняння щодо щільності розподілу особливостей по поверхні випромінювача. Якщо остання є канонічною, то процедура побудови рішення базується на розкладанні шуканого рішення за власними функціями задачі. В іншому випадку застосовують методи, в чомусь споріднені зазначеному, з тією відмінністю, що використовуються повні системи функцій для подання рішення, наприклад, метод допоміжних джерел, метод Т-матриць, метод граничних інтегральних елементів.

При вирішенні задачі вводяться наступні припущення фізичного та геометричного характеру: – в початковий момент часу вже сформований канал електричного розряду, що представляє собою циліндр кінцевої довжини, що дозволяє звести задачу до розгляду осесиметричного випадку; – рідина, що заповнює і навколишню конструкцію, ідеальна і стисла; рух рідини безвихровий; для опису руху навколишньої рідини допустимо акустичне при-наближення; – деформування стінок випромінювача відбувається пружно, згідно закону Гука для ізотропних середовищ; – радіус циліндру не менше, ніж на порядок, перевищує товщину пружних стінок.

Поблизу плазмової порожнини, що утворюється при електричному розряді у воді, можуть формуватися ударні хвилі з великою амплітудою, що викликає необхідність залучення нелінійних співвідношень для їх опису, тому використовується система рівнянь газової динаміки в циліндричній системі координат roz [4]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(F_1 r)}{\partial t} + \frac{\partial(F_2 r)}{\partial z} + \frac{\partial(F_3 r)}{\partial r} &= F_4, \quad F_1 = [\rho, \rho u_r, \rho u_z, \varepsilon]^T, \\ F_2 &= [\rho u_z, \rho u_z u_r, \rho u_z^2 + p, (\varepsilon + p) u_z]^T, \quad F_3 = [\rho u_r, \rho u_r^2 + p, \rho u_z u_r, (\varepsilon + p) u_r]^T, \\ F_4 &= [0, p, 0, 0]^T, \quad \varepsilon = \rho \left[E + (u_z^2 + u_r^2) / 2 \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

Система рівнянь (1) замикається рівнянням стану. Для води в широкому діапазоні зміни тисків справедливо двочленне наближення співвідношення (2):

$$E = \frac{p + \gamma B}{\rho(\gamma - 1)} - \frac{c_0^2}{\gamma - 1}, \quad (2)$$

де $B = \rho_0 c_0^2 / \gamma$, при цьому для води $\rho_0 = 10^3 \text{ кг/м}^3$; $c_0 = 1460 \text{ м/с}$; $\gamma = 7,15$; $B = 298,6 \text{ МПа}$.

Рух рідини у зовнішній по відношенню до оболонкової конструкції області описується в рамках акустичного наближення, справедливого для тиску, який не перевищує 100 МПа [4]. Хвильове рівняння записується щодо повного тиску в рідині з урахуванням осьової симетрії задачі в циліндричній системі координат (r, θ, z) :

$$\frac{1}{c_0^2} \ddot{p} = \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}, \quad (4)$$

На осі симетрії в циліндричній системі координат відповідно задаються умови

$$\left. \frac{\partial p}{\partial r} \right|_{r=0} = 0; \quad \left. \frac{\partial p}{\partial \theta} \right|_{\theta=0, \pi} = 0, \quad (5)$$

оскільки через вісь не повинен відбуватися перетікання рідини.

Математичний пакет FEMLAB – потужне інтерактивне середовище для моделювання і розв'язання наукових і технічних проблем, заснованих на диференціальних рівняннях в часткових похідних (PDE). До того ж у FEMLAB є зручний засіб візуального відображення області існування рішення

крайової задачі. Найбільш поширені способи візуалізації – двовимірні поверхневі графіки, перетину, ізоповерхні, контурні графіки.

У FEMLAB є засоби експорту різних даних в робочу область MATLAB. Це дає можливість для обробки цих даних застосовувати функції командного рядка, що забезпечують доступ до всіх засобів FEMLAB і MATLAB [32]. У діалогових вікнах є кнопки і перемикачі, що забезпечують експорт моделей безпосередньо в інші інструментальні засоби MATLAB, такі як Simulink і Control System Toolbox.

При вирішенні PDE, які описують модель, в FEMLAB застосовуються кінцевоелементні методи (FEM). Програмне забезпечення пакету підтримує кінцевоелементну технологію разом з адаптивним побудовою сітки і контролем помилок при роботі з різними чисельними рішеннями.

Підсистема GUI FEMLAB містить набір геометричних інструментальних засобів (CAD) для одновимірного, двовимірного і тривимірного моделювання. У цьому інтерфейсі є засіб автоматичної генерації кінцевоелементної сітки для будь-якої геометрії.

Розглянемо поетапне знаходження рішення задачі з застосуванням пакету FEMLAB.

1. Визивається навігатор моделей і головне меню (рис. 2)

Розмірність моделі вибираємо в Model Navigator [Навігаторі моделей] на першій вкладці New в Space Dimension [розмірність простору], крім 1D, 2D і 3D там є Axial Symmetry (1D) і (2D) для осесиметричних моделей.

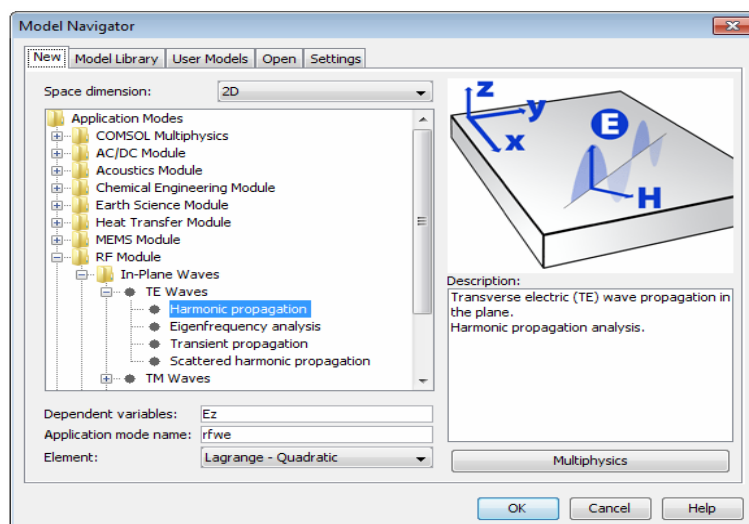


Рис. 2. Головне меню в пакеті FEMLAB

Після натискання клавіші OK в Model Navigator відкривається вікно основної програми з робочою областю, інструментальними панелями і головним меню. Кнопки на інструментальних панелях повторюють пункти головного меню (рис. 3).

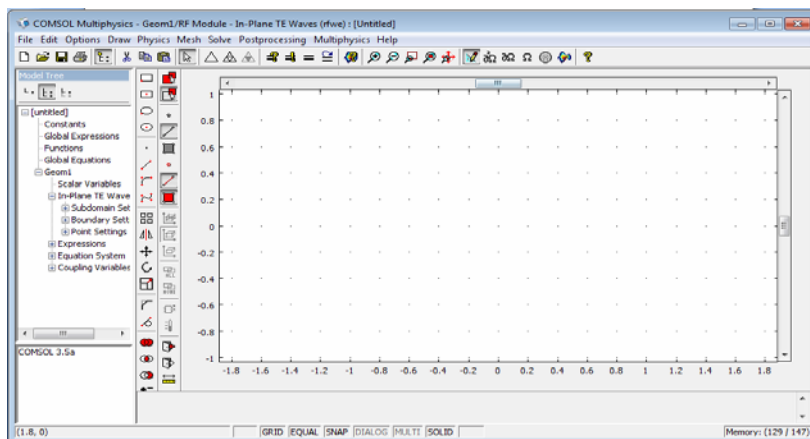


Рис. 3. Вікно основної програми з робочою областю

Граничні умови задаємо через Physics> Boundary Settings або F7 (рис. 4). У вікні Boundary Selection вибираємо по черзі або можна групами всі зовнішні кордони, відмічені яскравим чорним кольором, і в полі Boundary condition задаємо відповідні їм граничні умови.

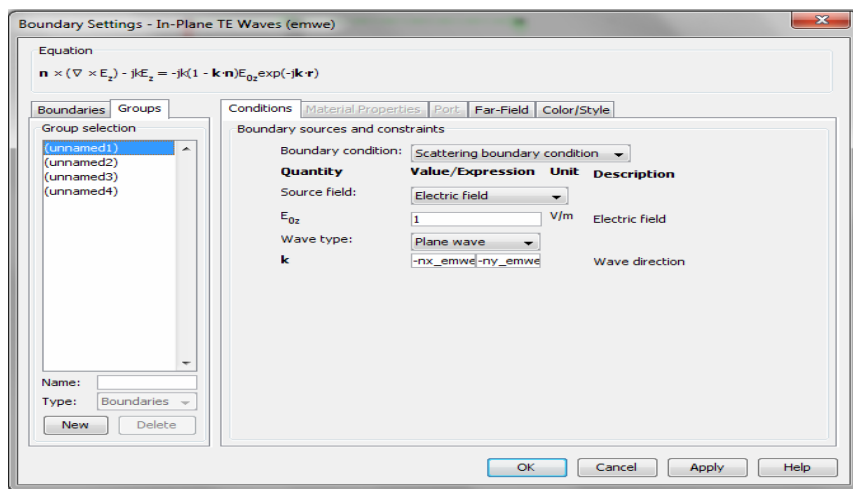


Рис. 4. Вікно введення граничних умов

Після завдання всіх властивостей і граничних умов настає черга побудови сітки. Для найпростіших моделей, на першому етапі оціночного розрахунку задаємо сітку за замовчуванням Mesh> Initialize Mesh (або кнопка з зображенням трикутника) і кілька разів натискаємо Mesh> Refine mesh і, отримаємо досить дрібну сітку, приступаємо до вирішення (рис. 5).

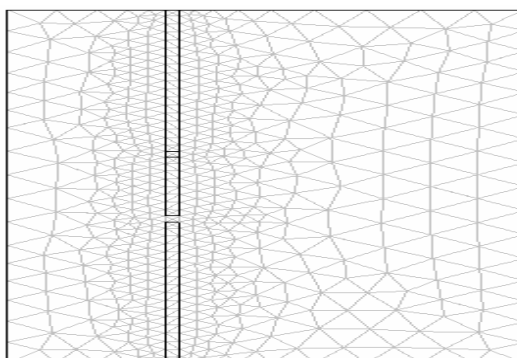


Рис. 5. Згенерована скінченноелементна сітка

Для підвищення точності розрахунку ми перевизначаємо (згущуємо) сітку за допомогою команди Mesh / Refine Mesh або клавіші Ctrl + M.

Так як змінювати параметри вирішувача, встановлені за замовчуванням, не треба, то для вирішення PDE треба тільки натиснути кнопку Solve або пункт меню Solve > Solve problem.

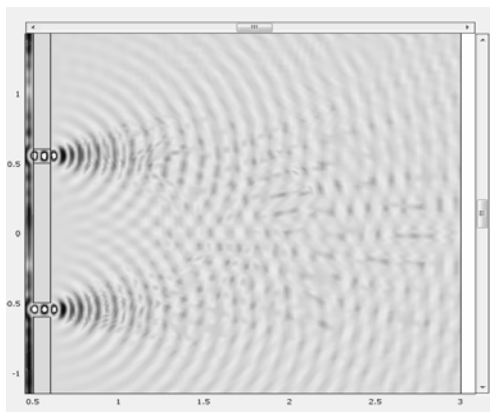


Рис. 6 Візуалізація інтерференції хвиль

Після завершення рішення автоматично включається режим Postprocessing [Режим постобробки], в якому можна спостерігати результати обчислення. вручну цей режим можна включити відповідною кнопкою – або командою Postprocessing> Plot parameters. Типово візуалізація проводиться у вигляді поверхні, спроектованої на площину xOy (рис. 6).

Отже, при моделюванні взаємодії двох точкових джерел гідроакустичних хвиль отримано характерну просторову інтерференційну картину, яка близька до тієї, що виходить фізично. У меню Postprocessing / Plot parameters / Animate можна записати відеоролик у форматі avi про зміну гідроакустичного поля у часі.

Список використаних джерел

1. Милн П. Х. Подводные инженерные исследования [Текст]. — Л. : Судостроение, 1989. — 230 с.
2. Новиков Б. К., Руденко О. В., Тимошенко В. И. Нелинейная гидроакустика [Текст]. — Л. : Судостроение, 1981. — 264 с.
3. Синицкий С. Л. Краткое руководство по Femlab [Текст]. — Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 354 с.
4. Шендеров Е. Л. Волновые задачи гидроакустики [Текст]. — Л. : Судостроение, 1972. — 352 с.
5. Шмелев В. Е., Лебедева В. Д. Femlab 2.3. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://femlab.narod.ru/met/nu.htm>.
6. Шмелев В. Е. Заметки по использованию системы FEMLAB [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/femlab/book1>.

Victor MELNIK, Sergey LUKYANCHIKOV
Nikolaev

APPLICATION SOFTWARE PACKAGE «FEMLAB» TO SIMULATE OPERATION PARAMETRIC UNDERWATER SOUND PROJECTOR

The paper discusses methods of modeling boundary-value problems in Femlab system, the mathematical model of sonar interference waves generated by the two sources. The calculation of the interference pattern, the model of the phenomenon of wave interference using Femlab package. The solution to these problems is the basis of mathematical and software of modern acoustic radiating systems and can be used for their implementation.

Key words: radiative sonar system, acoustic pressure, electrical discharge, a mathematical model, the acoustic field, a software package.

Виктор МЕЛЬНИК, Сергей ЛУКЬЯНЧИКОВ
г. Николаев

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА ПРОГРАММ "FEMLAB" ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

В работе рассмотрены методы моделирования краевых задач в системе Femlab, представлена математическая модель интерференции гидроакустических волн, генерируемых двумя источниками. Приведен расчет интерференционной картины, разработана модель явления интерференции волн с помощью пакета Femlab. Решение этих задач составляет основу математического и программного обеспечения современных акустических излучающих систем и может быть применено для их практической реализации.

Ключевые слова: гидроакустическая излучательная система, акустическое давление, электрический разряд, математическая модель, акустическое поле, пакет программ.

Стаття надійшла до редколегії 30.09.2016

ДОСЛІДЖЕННЯ НА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЯХ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АТМ В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ЗАЛІЗНИЦІ

Оцінити інтеграцію технології АТМ тільки у деяку частину ІТС Придніпровської залізниці. Розробити імітаційні моделі, для оцінки адекватності яких використати реальні дані мережного трафіку в ІТС Придніпровської залізниці. На розроблених імітаційних моделях провести експериментальні дослідження часу доставки повідомлення від ступеню завантаженості мережі, розміру повідомлення, а також при збільшенні кількості звертань до мережі. Із зростанням ступеня завантаженості мережі від 266 до 366 станцій мережі, при збільшенні розміру повідомлення від 2000 до 10000 байт та при збільшенні кількості звертань до мережі (зменшення часу між транзакціями від 0,008 до 0,004 с) найменший середній час доставки повідомлення досягається на імітаційних моделях ATMFast-DK і GigaFast-DK. Середній час доставки повідомлення приблизно однаковий на імітаційних моделях ATMFast-DK і GigaFast-DK, але на імітаційній моделі GigaFast-DK найбільша кількість напрямків відомовлення (144 із 550) при збільшенні кількості звертань до мережі (час між транзакціями 0,002 с). У ІТС Придніпровської залізниці доцільно використання технології АТМ, в зрівнянні з технологією Gigabit Ethernet, але лише на ділянці Дніпропетровськ – Київ.

Ключові слова: Придніпровська залізниця, АТМ, імітаційна модель, мережний трафік, час доставки повідомлення.

Існуючі технології в інформаційно-телекомунікаційній системі (ІТС) Придніпровської залізниці (IP, Ethernet, Fast Ethernet та інші) не в змозі забезпечити необхідну якість обслуговування QoS (Quality of Service), саме технологія АТМ може бути використана за основу. Незважаючи на те, що технологія АТМ має ряд переваг над Fast Ethernet, повномасштабна реалізація високо коштовної технології навряд чи виправдана, тому доречно провести ряд додаткових експериментальних досліджень. Для цього розглянутий один із основних фрагментів ІТС Придніпровської залізниці.

Технологія асинхронного режиму передачі (Asynchronous Transfer Mode, АТМ) – це технологія, яка має вбудовані можливості управління QoS та характеризується широким набором наступних властивостей [3]: висока пропускна здатність; можливість організації високошвидкісних з'єднань; надання гарантованої смуги пропускання; універсальна сумісність. Підхід, реалізований в технології АТМ, полягає у передачі будь-якого виду трафіку (комп'ютерного, телефонного або відео) пакетами фіксованої і дуже маленької довжини в 53 байти (комірками) [8–10]. Специфікація LANE описує окремо емульовані локальні мережі (наприклад, Ethernet і Token Ring), але вона не визначає явно, як організувати зв'язок безпосередньо між двома типами емульованих локальних мереж; зв'язати їх можна за допомогою маршрутизатора або комутатора АТМ, причому він повинен бути клієнтом кожної з емульованих локальних мереж [5]. Про необхідність узгодження технології АТМ з технологіями локальних мереж в інформаційних системах на залізничному транспорті говорилось в [7]. Для дослідження характеристик мережі АТМ доцільно використати метод імітаційного моделювання. В програмі Netcracker розроблена імітаційна модель мережі кафедри «Електронні системи» в Запорізьській державній інженерній академії за технологією АТМ; в [1] виконані етапи синтезу, аналізу та оптимізації мережі. У [6] представлена в програмі CLASS 6.20f імітаційна модель міської транспортної мережі на основі АТМ; проведені дослідження ймовірності втрат комірок та середньої затримки в мережі. Дослідження в [6] показали, що неприпустимі втрати починають виникати лише при 4-х кратному збільшенні навантаження від номінального. Поява самоподібних властивостей, що відбуваються в мультисервісній телекомунікаційній мережі, і затримок, неузгоджених з вимогами провайдера при передачі трафіку, є основним питанням, яке потребує вирішення в [4]; для аналізу класу розподі-

лів процесів надходження інтервалів часу між пакетами і тривалості пакетів використана програма Easyfi Professional. У [2] представлена в програмі Netcracker імітаційна модель мережі Московського державного технічного університету імені Баумана на базі ATM, моделювання якої дозволить перевірити ефективність роботи мережі із різним типом трафіку та визначити стабільність мережі із різним навантаженням.

Оцінити інтеграцію технології ATM тільки у деяку частину ІТС Придніпровської залізниці. Розробити в програмі Netcracker імітаційні моделі, на яких визначити слабкі сторони існуючої мережі та проаналізувати здатність мережі до модернізації на основі технології ATM.

У програмі Netcracker розроблені імітаційні моделі: ATMFast-DK, ATM-DK, GigaFast-DK. Імітаційна модель ATMFast-DK відображає впровадження технології ATM лише на ділянці Дніпропетровськ-Київ, в будівлях залишається Fast Ethernet. У моделі використовується мультипротокольний комутатор Catalyst 5000 (з доданими модулями WS-X5162, WS-X5530-E2), вибір якого аргументований тим, що він забезпечує повну підтримку Fast EtherChannel та ATM. Окрім того, комутатор Catalyst 5000 за допомогою модуля WS-X5162 підтримує емуляцію локальної мережі в середовищі ATM.

Імітаційна модель ATM-DK повністю моделює роботу фрагмента ІТС за технологією ATM. У моделі ATM-DK станції забезпечені адаптерами ATM, що надають можливість їх поєднання із комутаторами ATM за допомогою волоконнооптичного кабелю. У моделі ATM-DK використовується комутатор IGX 8410 із модулями: IGX-FRM with BC-6254A-X21 для з'єднання міст; IGX-UXM with BC-UAI-2-155-SMF для з'єднання з локальною мережею. Комутатор ATM з'єднується з хмарою за допомогою кабелю Local Multiwire Cable.

Імітаційна модель GigaFast-DK моделює роботу фрагмента існуючої ІТС: за технологією Gigabit Ethernet (між містами) та Fast Ethernet (в будівлях). У комутаторах Catalyst 5000 використовуються модулі: WS-X5403 для міжміського з'єднання; IGX-UXM with BC-UAI-2-155-SMF для поєднання з локальною мережею будівлі.

Для оцінки адекватності розроблених імітаційних моделей використовуються реальні дані мережного трафіку в ІТС Придніпровської залізниці (Дніпропетровськ – Київ) за 01.04.2016 р. (від 14:08 до 16:07). На імітаційних моделях використовується функція Set traffic для завдання мережного трафіку, який має наступну структуру: станції мережі передають трафік на сервера першого рівня головної будівлі Дніпропетровська (категорія InterLan traffic); сервера першого рівня передають трафік на головний сервер SMP LH Pro NetServer DN (категорія File client-server); головний сервер Дніпропетровська передає трафік на аналогічний сервер головної будівлі Києва (категорія File client-server); головний сервер Києва поширює трафік по серверам першого рівня (категорія File client-server); сервера першого рівня поширюють трафік по станціям мережі Києва (категорія InterLan traffic). Середній час відповіді, отриманий на імітаційних моделях GigaFast-DK, ATMFast-DK, ATM-DK становить 113,4 мс, 105,6 мс, 108,4 мс відповідно, що майже дорівнює реальному значенню 113,4 мс, тобто розроблені імітаційні моделі можливо використати в організації наступних досліджень.

Дослідження залежності часу доставки повідомлення від ступеню завантаженості мережі. У кожному дослідженні проводиться по три експерименти на кожній імітаційній моделі: ATMFast-DK, ATM-DK, GigaFast-DK. Тривалість роботи моделей складає: 1 хвилину в експериментах № 1–2, 10 хвилин в експерименті № 3. Результатами роботи імітаційних моделей є швидкість потоку трафіку на ділянках мережі (їх 7) та час доставки повідомлень в мережі. Загальна кількість станцій мережі, що передають повідомлення, дорівнює: 266 в експерименті № 1; 316 в експерименті № 2; 366 в експерименті № 3. Так наприклад, в експерименті № 1 середня швидкість потоку трафіка в мережі на моделі ATMFast-DK складає 9,25 Кбіт/с, на моделях ATM-DK і GigaFast-DK – 9,3 Кбіт/с. На основі отриманих даних побудовані графіки залежності часу доставки повідомлення від ступеню завантаженості мережі на різних імітаційних моделях та представлені на рис. 1.

Із рисунку видно, що значення середнього часу доставки повідомлення в мережі збільшується на всіх імітаційних моделях, але на імітаційних моделях ATMFast-DK і GigaFast-DK середній час доставки повідомлення збільшується приблизно у 1,5 рази, тоді як на імітаційній моделі ATM-DK – у 3,6 рази, тобто повна інтеграція технології ATM недоцільна.

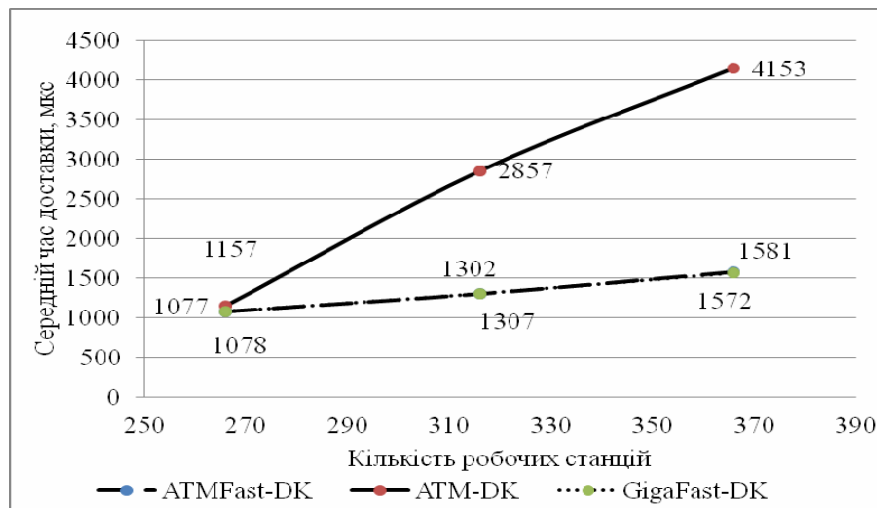


Рис. 1. Залежність часу доставки повідомлення від ступеню завантаженості мережі

Дослідження залежності часу доставки повідомлень від розміру повідомлення. При моделюванні час між транзакціями складав 0,008 с. На підставі отриманих даних побудовані графіки залежності часу доставки повідомлення від його розміру та представлені на рис. 2. Із рисунку видно, що збільшення середнього часу доставки повідомлення від його розміру: у 2,4 рази на моделі ATM-DK; у 3,9 рази на моделі ATMFast-DK; у 4 рази на моделі GigaFast-DK. Проте порівнявши отримані значення на всіх імітаційних моделях спостерігається, що середній час доставки повідомлення на моделі ATM-DK приблизно у 1,9 рази вищий, ніж на моделях ATMFast-DK та GigaFast-DK. Із вище сказаного слідує, що доцільна інтеграція ATM тільки у деяку частину комп'ютерної мережі ІТС Придніпровської залізниці: ділянку Дніпропетровськ – Київ.

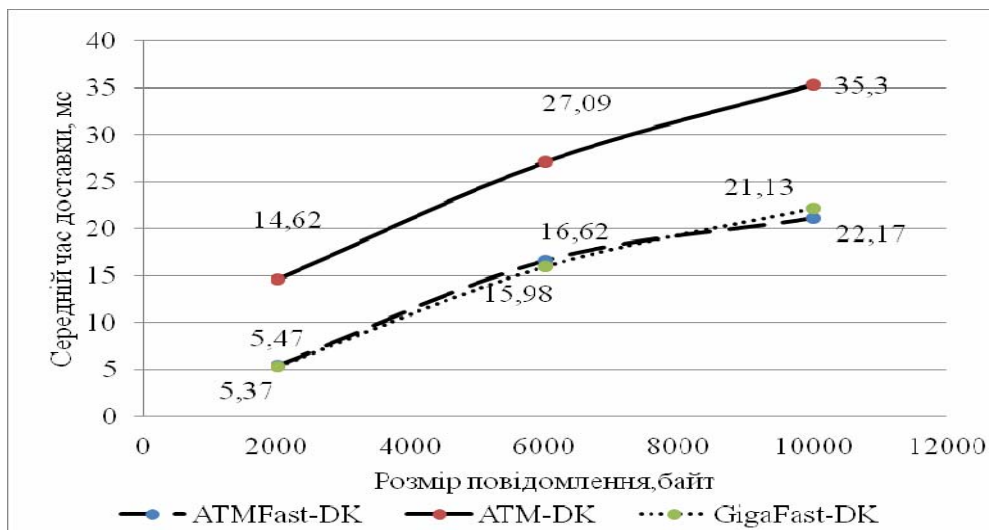


Рис. 2. Залежність часу доставки повідомлення від його розміру

Дослідження залежності часу доставки повідомлень при збільшенні кількості звертань до мережі. У дослідженні розмір повідомлення складає 10000 байт. У експериментах № 1–3 зменшується час між транзакціями та дорівнює 0,008; 0,004; 0,002 с відповідно. На підставі отриманих даних побудовані графіки залежності часу доставки повідомлення при збільшенні кількості звертань до мережі та представлені на рис. 3.

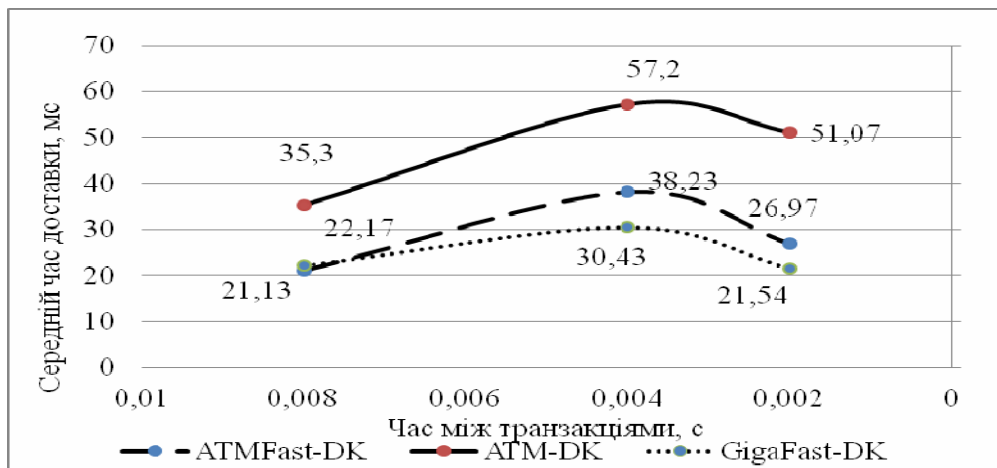


Рис. 3. Залежність часу доставки повідомлення при збільшенні кількості звертань до мережі

Із рисунку видно, що у експериментах № 1–2 імітаційні моделі працюють якісно та безперебійно, але у експерименті № 3 моделі починають не справлятися із навантаженням. Пониження середнього часу доставки свідчить, що на імітаційних моделях передаються не всі повідомлення. Так зокрема, із 550 напрямків передачі повідомлень на моделі ATM-DK відмовило 78 напрямків, на моделі ATMFast-DK – 119, на моделі GigaFast-DK – 144.

При оцінюванні значень експериментів № 1–2 середній час доставки повідомлення при збільшенні кількості звертань до мережі збільшився: у 1,8 рази на моделі ATMFast-DK; у 1,6 рази на моделі ATM-DK; у 1,3 рази на моделі GigaFast-DK. Проте порівнявши отримані значення в експериментах № 1–2 на всіх імітаційних моделях спостерігається, що середній час доставки повідомлення при збільшенні кількості звертань до мережі на моделі ATM-DK у 1,6 рази вищий ніж на моделі ATMFast-DK та у 1,75 рази вищий ніж на моделі GigaFast-DK. Оскільки, середній час доставки повідомлення приблизно однаковий на моделях ATMFast-DK і GigaFast-DK, але на моделі GigaFast-DK найбільша кількість напрямків відмовлення при збільшенні кількості звертань до мережі, то доречно використання технології АТМ лише на ділянці Дніпропетровськ-Київ.

Висновки і перспективи подальших досліджень:

1. АТМ являється технологією, що дозволяє передавати інтегральний трафік (голос, відео, дані), одночасно задовольняючи несумісним вимогам до умов передачі та жорстким умовам в плані завантаженості каналів зв'язку.

2. Для дослідження ІТС Придніпровської залізниці розроблені в Netcracker імітаційні моделі: ATMFast-DK, ATM-DK, GigaFast-DK. Середній час відповіді на моделі ATMFast-DK становить 105,6 мс, що відрізняється на 7% від реального значення. Середній час відповіді на моделі ATM-DK становить 108,4 мс, що відрізняється на 4% від реального значення. Середній час відповіді на моделі GigaFast-DK становить 113,4 мс, що відповідає реальному значенню.

3. Оскільки, середній час доставки повідомлення приблизно однаковий на моделях ATMFast-DK і GigaFast-DK, але на моделі GigaFast-DK найбільша кількість напрямків відмовлення при збільшенні кількості звертань до мережі, то в ІТС Придніпровської залізниці доцільно використання технології АТМ в зрівнянні з технологією Gigabit Ethernet, але лише на ділянці Дніпропетровськ – Київ. Окрім того, Gigabit Ethernet покладається на алгоритм остоного дерева для ліквідування циклів та відключення збиткових з'єднань, у той час як АТМ надає механізм, що дозволяє не тільки використовувати збиткові канали, але і балансувати завантаження між ними. У подальшому на імітаційній моделі необхідно перевірити ефективність роботи мережі із різним типом трафіку.

Список використаних джерел

1. Василенко О. В. Моделирование электронных систем [Текст] / О. В. Василенко. — Запоріжжя : ЗДІА, 2013. — 130 с.
2. Галкин В. А. Подходы к построению имитационных моделей сети хранения данных [Электронный ресурс] / В. А. Галкин, Н. А. Милаев // Инженерный вестник. — 2013. — № 8. — С. 527–536. — Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/638235.html>.

3. Дикер-Пилдуш Г. Сети АТМ корпорации Cisco: пер. с англ. [Текст] / Г. Дикер-Пилдуш. — М. : Вильямс, 2004. — 880 с.
4. Киреева Н. В. Частный случай исследования параметров трафика сети для определения законов распределения времени передачи пакетов [Электронный ресурс] / Н. В. Киреева, Л. Р. Чупахина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 5–3. — Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/chastnyy-sluchay-issledovaniya-parametrov-trafika-seti-dlya-opredeleniya-zakonov-raspredeleniya-vremeni-peredachi-paketov>.
5. Князева Г. В. Исследование проблем объединения технологий Ethernet и АТМ при построении локальных вычислительных сетей [Электронный ресурс] / Г. В. Князева // Вестник ВУиТ. — 2011. — № 17. — Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-problem-obedineniya-tehnologiy-ethernet-i-atm-pri-postroenii-lokalnyh-vychislitelnyh-setey>.
6. Коломієць В. Ф. Міжнародні інформаційні системи [Текст] / В. Ф. Коломієць; за ред. В. П. Гондюла. — К. : Київський університет, 2001. — 458 с.
7. Пахомова В. М. Возможности развития компьютерных сетей в автоматизированных системах железнодорожного транспорта [Текст] / В. М. Пахомова. — Днепропетровск : Дніпр. нац. унів. заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. — 2016. — 203 с.
8. Ропчан С. Все о АТМ [Текст] / С. Ропчан // Системный администратор. — 2003. — № 4 (5). — С. 60–72.
9. Kyas O. ATM Networks [Text] / O. Kyas, G. Crawford. — Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
10. ATM Glossary. ATM Forum site, <http://www.atmforum.com>.

Виктория ПАХОМОВА

г. Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ НА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ АТМ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПРИДНЕПРОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Оценить интеграцию технологии АТМ только в некоторые части ИТС Приднепровской железной дороги. Разработать имитационные модели, для оценки адекватности которых использовать реальные данные сетевого трафика в ИТС Приднепровской железной дороги. На разработанных имитационных моделях провести экспериментальные исследования времени доставки сообщения от степени загруженности сети, размера сообщения, а также при увеличении количества обращений к сети. С ростом степени загруженности сети от 266 до 366 станций сети, при увеличении размера сообщения от 2000 до 10000 байт и при увеличении количества обращений к сети (уменьшение времени между транзакциями от 0,008 до 0,004 с) наименьшее среднее время доставки сообщения достигается на имитационных моделях ATMFast-DK и GigaFast-DK. Среднее время доставки сообщения примерно одинаково на имитационных моделях ATMFast-DK и GigaFast-DK, но на имитационной модели GigaFast-DK наибольшее количество направлений отказа (144 из 550) при увеличении количества обращений к сети (время между транзакциями 0,002 с). В ИТС Приднепровской железной дороги целесообразно использование технологии АТМ, в сравнении с технологией Gigabit Ethernet, но только на участке Днепропетровск – Киев.

Ключевые слова: Приднепровская железная дорога, АТМ, имитационная модель, сетевой трафик, время доставки сообщения.

Viktoriia PAKHOMOVA

Dnipropetrovsk

RESEARCH ON SIMULATION MODELS USING TECHNOLOGY ATM IN INFORMATION-TELECOMMUNICATION SYSTEMS DNIPEER RAILWAY

Rate integration to technology ATM only in some parts of ITS Dnieper railway. Develop simulation models, to assess their adequacy using real data network traffic in ITS of Dnieper railway. In the developed simulation model to conduct experimental research time for the message on the degree of congestion of the network, message size, as well as the number of references to the network. With increasing degree of congestion of the network from 266 to 366 stations network, increasing message size from 2000 to 10000 bytes and as the number of appeals to the (decrease the time between transactions from 0,008 to 0,004 c) the smallest average time for the message reached at simulation models ATMFast-DK and GigaFast-DK. The average delivery time for messages about the same simulation models ATMFast-DK and GigaFast-DK, but the simulation model GigaFast-DK largest number of failures areas (144 of 550) as the number of appeals to the (time between transactions 0.002 s). In ITS Dnieper railway advisable to use ATM technology in leveling the playing field with technology Gigabit Ethernet, but only at the site of Dnipropetrovsk – Kyiv.

Key words: Dnieper railway, ATM, simulation model, network traffic, time message delivery.

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2016

ЗАСОБИ ГЕНЕРАЦІЇ ЗВІТІВ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ

Стаття присвячена аналізу сучасних програмних засобів генерації звітів за інформацією з баз даних і тенденцій їх розвитку та можливостей. Наводиться порівняльний аналіз генераторів звітів за різними критеріями та зроблено загальні висновки щодо їх застосування.

Ключові слова: генератор звітів, OLAP, звіт, база даних, звітна форма.

Упродовж розвитку інформаційних технологій процес накопичення інформації постійно ускладнюється і збільшується в об'ємі. Крім того, все більш необхідна автоматизація самого ресурсоемного і трудомісткого етапу діяльності переважної більшості організацій – роботи з друкованими документами. Цей етап за різними оцінками, наприклад [1, 2], займає близько 60% часу співробітників.

Сучасне уявлення про друкований документ змінено і сьогодні він може містити в собі складні обчислення, зображення, графіки, діаграми і т.і.

У зв'язку з ускладненням форм і кількості друкованих документів особливо гостро постає завдання створення електронних комплексів, що дозволяють автоматизувати процес «виробництва» друкованих документів, використовуючи інформацію, що зберігається в базах даних. Такі електронні комплекси називаються генераторами звітів (ГЗ). Отже, генератор звітів – програма або бібліотека, що дозволяє представити інформацію в зрозумілому людині структурованому вигляді. Іншими словами перетворити дані на інформацію (документ, звіт), яку можна роздрукувати або зберегти в різних електронних форматах [1].

Генератори звітів, як правило, є невід'ємною частиною програмних комплексів, створених для автоматизації паперового документообігу компаній – програм електронного документообігу.

Проаналізуємо найбільш поширені генератори звітів, почавши огляд зі загальновідомих.

1. Crystal Report (Crystal Decisions). Цей прикладний програмний інтерфейс є комерційним. Він має велику кількість можливостей. Визнаний найкращим ГЗ 2003 року. Ця система стійка і передбачувана, крім того швидко працює формування звітів.

До недоліків віднесемо наступне: рядкові і формульні поля типу рядок не можуть бути довше 255 символів (виняток поля типу Мемо, але їх не можна включати в формули), відсутність майстра таблиць, що робить перерисовку звіту досить складним, створення підзвітів можливо лише тільки 2-х рівнів вкладеності. Даний програмний продукт має широкі можливості з експорту звітів, але, на жаль, майже весь експорт недосконалий (особливо це стосується графічних елементів, що частково виправлено у версії 9.0). Наприклад, якщо секція Detail більша, ніж висота сторінки, то виникають помилки з прорисовуванням об'єктів при формуванні звіту.

2. Oracle Report (Oracle Corp.). Потужний засіб генерації звітів, що має вбудовану мову програмування, майстра запитів до баз даних (БД) та шаблони типових звітів, дещо схожий на Crystal, але розроблений під Oracle і також комерційний. Вказаний ГЗ потребує значних ресурсів дискового простору. Він є приблизно в 1,5 рази дорожчим, ніж Crystal Report, крім того має таку ж ліцензійну угоду на використання компонент, а можливо навіть і дещо жорсткішу, оскільки не містить інформацію про платні та безкоштовні методи.

3. Centura Report Builder (Gupta Technologies). У цього засобу існують проблеми з підключенням через ODBC до довільних баз даних (крім власної Gupta SQLBase). Він має складне підключення до БД через власні драйвери (MS SQL Server, Sybase та інші). Крім цього даний ГЗ має проблеми обміну даними з багатьма принтерами, а на різних форумах по даному програмному продукту є скарги на несподівані падіння програми, тобто він є нестійким щодо зовнішніх втручань. В ньому практично не

розвинений експорт, а можливості більш обмежені, ніж в Crystal. До недоліків відноситься і те, що в ньому не існує підзапитів, він має гірший дизайнер звітів і досить заплутаний інтерфейс [5].

4. *SoDA – Software Documentation Automation (Rational Software)* – є генератором проектної документації. SoDA представляє собою макрос, написаний для MS Word і особливо корисний при реалізації великих інформаційних проектів, в яких на складання документації і її постійну переробку зазвичай витрачається дуже багато часу і сил розробників.

За заданими користувачем шаблонами SoDA компілює документацію, збираючи в один документ текстові та графічні дані з різних джерел, наприклад з моделей, створених в Rational Rose [6]. Далі користувач може відредагувати отриманий документ за допомогою Microsoft Word або Adobe FrameMaker з SGML (це дві різні версії SoDA, документ генерується в форматі HTML). SoDA, як і будь-яка система звітності, базується на тих даних, які отримує зі сторонніх програм.

SoDA підтримує всю лінійку продуктів Rational Software, дозволяючи створювати складні комбіновані звіти на основі вихідних даних програм складу Rational Suite. При цьому SoDA має доступ до даних з Microsoft Project.

SoDA може працювати в двох режимах. Перший – генерація звіту за даними на основі існуючого шаблону (Word), який, в свою чергу, суворо дотримується стандартів RUP і ISO. Другий – генерація звіту на основі власного шаблону компанії, оформленого довільним чином відповідно до її традицій.

Даний генератор звітів підтримується програмою MS Word. Шаблони користувач створює на основі стандартних шаблонів SoDA, включаючи до них SoDA макроси (вони, власне, і відповідальні за генерацію звітів). Генератор звітів SoDA представляє собою свою окрему панель інструментів в MS Word. Звіти генеруються по всій лінійці Rational-продуктів (включаючи різноманітну графіку і схеми) та по окремим документам текстового процесора Word.

За твердження самих розробники SoDA: «Навіть за допомогою SoDA важко отримати стовідсотково читабельний звіт для замовника, але свої відсотків вісімдесят такого звіту SoDA згенерує. Іншу правку можна покласти на плечі фахівця, здатного надати звіту (на цьому етапі вже – документу) літературний вид» [7, 8].

5. *MS Access (Microsoft Corp.)* має свій генератор звітів з можливістю експорту в MS Word (у форматі RTF). Добре продуманий майстер звітів (для створення простих звітів без малювання). Можливі групування, форматування об'єктів, створення формул з досить багатого набору. Ідеологія побудови звітів аналогічна Crystal Report і Centura Report Builder.

До недоліків можна віднести відсутність табличного майстра і взагалі процес створення таблиць. Всі таблиці в кінцевому звіті створюються в табульованому поданні рядків, а не об'єктами Table з рядками і колонками. В результаті такої побудови важко виправляти кінцевий звіт щоб не порушилося правильне слідування комірок в таблиці. При експорті в MS Word (формат RTF) втрачаються всі графічні елементи (лінії, прямокутники), неможливо експортувати розграфлену таблицю, оскільки розташування елементів на аркуші паперу здійснюється за рахунок табуляцій, що не завжди зручно. Крім того у таких експортованих звітах відсутнє вирівнювання тексту по формату.

Далі оглянемо генератори звітів створені на пострадянському просторі та інтегровані системи створення звітів в крупних програмних комплексах (наприклад, в системах електронного документообігу, електронного архіву тощо).

6. *1С:Підприємство (1С)* має достатньо великий набір звітів з можливістю налаштування та збереження цього налаштування. Користувач може самостійно задавати (надбудовувати) рівень деталізації, параметри групування і критерії відбору даних у звітах у відповідності зі специфікою розв'язуваних завдань. Такі індивідуальні налаштування (створені користувачем спеціалізовані звіти) можуть бути збережені для подальшого використання. У ряді звітів для більшої наочності передбачено графічне представлення даних (це інтеграція з діаграмами Excel), а також розшифровки показників у вигляді відповідних звітів.

В цій системі дизайнер довільних шаблонів, як такий, відсутній – існують тільки налагоджувальні звіти, побудовані за принципом таблиць даних, в яких можна змінити поля сортування, відформатувати комірки таблиць (шрифти, вирівнювання, колір) та додати зображення.

У 1С розвинені засоби відображення звітів у вигляді діаграм, графіків тощо (наприклад, рейтинги, заборгованості, продажі за період), тому у типові звіти вбудовані діаграми і можна відразу

переглядати звіт у вигляді таблиці і у вигляді діаграм. Також існує можливість призначати період виконання звітів (наприклад, кожен день, або кожні 1/2 години і т.і.)

На сьогодні розроблено конвертор табличних документів 1С: Підприємства для Microsoft Excel.

Даний програмний продукт представляє собою конвертор (фільтр), який використовується програмою Microsoft Excel для відкриття файлів у форматі «1С: Підприємство». Він дозволяє користувачам Microsoft Excel відкривати файли табличних документів (звітів і друкованих форм первинних документів), створених в 1С: Підприємстві. При цьому зберігається не тільки текстовий зміст табличного документа, але і елементи форматування (шрифти, рамки, кольори і т.д.). [9]

7. *FastReport (Fast Reports Inc.)* за даними журналу Delphi Informant Magazine займає 2-е місце за популярністю серед інструментів для розробки звітів для Borland Delphi. Він є візуальним компонентом бібліотеки VCL і містить повний програмний код для вбудовування в програмні проекти Borland Delphi.

FastReport має власний дизайнер звітів, розвинену мову скриптів (Pascal-подібну) для створення обчислюваних змінних та підтримує роботу з БД: Interbase Express (IBX), IBOjects, ActiveX Data Objects (ADO). Його можливості та ідеологія побудови звітів близька до Centura Report Builder, а візуальний конструктор побудови таблиць дуже близький до Crystal Report. Крім того цей ГЗ володіє власним ресурсом WYSIWYG для перегляду та друку звітів.

Серед недоліків FastReport зазначимо наступні: існування проблеми друку (наприклад, всі сторінки на одній) на деяких принтерах (Xerox, Canon, HP LJ w1000); некоректний експорт в інші формати; складність налаштування; досить часто виникає необхідність перекомпіляції (інтегрований тільки з Borland Delphi, поставляється у вигляді вихідних кодів) [10].

8. *LanDocs (ЛАНІТ)* це платформа побудови корпоративних систем документообігу, яка не має дизайнера звітних форм, але містить набір типових звітів по реєстрації документів і контролю виконання.

Поряд з інтерактивними засобами контролю виконання ця система надає можливість друку різних звітів: довідки про невиконані документи; довідки про виконані документи; звіт про виконання контрольних документів; звіт-нагадування за контрольними документами; звіт про виконання завдань; нагадування за завданнями. Поряд зі звітами по контролю виконання LanDocs надає можливість формування і друку інших звітів про стан документообігу, таких як: реєстраційна картка документа; журнал реєстрації за період; відомості про документообіг; статистика за кореспондентами.

В цій платформі звіти готуються у вигляді файлів формату RTF, що дозволяє переглянути і скопіювати звіт перед друком засобами MS Word, завантаживши в нього файл RTF.

Перед установкою цієї програми замовнику необхідні звіти налагоджуються розробниками, крім того існують типові не налагоджувальні звіти (дивись зазначене вище), які йдуть з типовою поставкою продукту [11].

9. *NauDoc (NAUMEN)*. Даний програмний засіб не має дизайнера довільних звітних форм, але він містить налагоджувальні звіти. Наприклад, існують налагоджувальні звіти з контролю виконання документів (КВД) та налагоджувальний журнал реєстрації документів.

Наприклад, для об'єкту «Журнал» можна створити новий журналу з довільним набором полів, додавати / видаляти записи та фільтрувати їх за певний період. Крім того, можна створювати звіти за КВД для вхідних та вихідних завдань окремо, створюючи таблиці з заголовками, призначенням та контролерами з можливістю негайного відправлення електронного листа за вказаною e-mail адресою. Звіти можна сортувати та розфарбовувати в червоний, жовтий і зелений колір в залежності від терміну виконання завдання (прострочено/ закінчується термін виконання/ виконано). Існує також можливість приховати частину стовпців таблиці. Насамкінець, можна вести статистику виконання завдань в окремих звітах у вигляді таблиць з можливістю фільтрації рядків таблиці за період дії завдань.

Весь продукт базується на HTML-технології. Всі звіти створюються в HTML форматі, а реєстраційні журнали, крім того, можна експортувати в Excel [12]

10. *Optima-WorkFlow (Optima)* – програмна платформа для створення систем управління документами, яка в якості дизайнера звітних форм застосовує компонент платформи Crystal Report.

За допомогою пакету Crystal Report в Optima-WorkFlow можливе створення різних форм звітності. Макет звіту можна додавати до системної бібліотеки звітів та на нього встановлюються права на використання конкретними користувачами. Виконання звіту може бути ініційоване безпосередньо з

автоматизованого робочого місця. Можливе параметричне налаштування правил формування звіту [13].

11. *PayDox (PayBot)* – це система електронного документообігу і підтримки спільної роботи, яка побудована на Internet-технологіях (HTML). Безпосередньо власного дизайнера звітної форми вона не має, але можна користуватися стандартними шаблонами або налаштувати їх самостійно за допомогою вбудованого майстра створення таблиць.

Система дозволяє створювати необхідні користувачам звіти по документам і отримувати інформацію про документи в режимі реального часу. Звіти можуть створюватися як адміністратором системи, так і власне самими користувачами. При створенні звіту користувачі вказують інформацію, яку необхідно вивести у звіті, задають порядок слідування стовпців звіту і вказують поля, за якими має проводитися підсумкове підсумовування. Налаштування звітів зберігаються в системі для подальшого використання. Якщо до деяких документів звіту даному користувачеві не дозволено доступ, то видається відповідне повідомлення.

Отримані в PayDox звіти можна вивести в форматі HTML, MS Word, MS Excel (відображаються в середовищі Internet Explorer). У звітах можна виводити підсумкові суми за кількома показниками одночасно. Наприклад, по контрагентам і за періодами, за категоріями документів і за типами фінансових операцій. Якщо деякі з документів вимагають дозволу на оплату, і у даного користувача є такі повноваження, безпосередньо зі звіту можна отримати дозволи на проведення оплати таких документів, після чого система негайно відправить e-mail повідомлення відповідальним за ці документи користувачам. У звітах можна вказувати обчислювальні за формулами поля. Формули обчислень можна задавати як на VB Script, так і на мові СУБД (наприклад, Transact SQL для MS SQL або VBA для MS Access). Також в системі є набір стандартних функцій для використання під час налаштування звітів. Наприклад, якщо суми в платіжних документах представлені в різних валютах, система автоматично конвертує такі суми за необхідним курсом (вказаним або в самому документі, або в довіднику курсів валют) в основну валюту, в якій ведеться облік, для розрахунку підсумкового консолідованого балансу в єдиній валюті.

Система має вбудований конструктор звітів (майстер форм) для самостійного формування необхідної звітності, але всі звіти матимуть просту табличну структуру. Система надає можливість представлення звіту у вигляді гістограми, проте аналізований засіб не має дизайнера звітних форм для створення звітів довільної форми. Системою підтримуються СУБД: MS Access або MS SQL Server [14].

12. *Q&R [Zanumi i zvimu] (Intertrust Ltd.)* – генератор звітів, що працює тільки над БД Lotus Notes, оскільки в самій БД Lotus не існує власного ГЗ, який міг би створити звіти в форматі MS Word та MS Excel. Він представляє собою окремо існуючі підсистеми: формування запитів (в тому числі параметризованих і формульних – за допомогою формул Lotus) і створення шаблонів звітів в MS Word або MS Excel.

Підсистема запитів виконує запит (в стандарті QBE – Query By Example) і формує колекцію відібраних документів. У MS Word або MS Excel створюється шаблон, в якому користувач описує порожні поля з іменами реальних полів БД (об'єкти типу Field Word). В кінці таблиці, періодичної секції, секції підсумків і т. ін. автоматично створюється поле з ім'ям «кінець таблиці». Підсистема створює таблицю і визначає підсумкові суми, а потім запускається функція формування звіту за шаблоном (з Lotus), за якою поля замінюються на значення з БД.

Даний ГЗ має просту логіку роботи, в ньому можна легко створити прості документи. Він входить до складу систем «OfficeMedia», «CompanyMedia-Діловодство», «CompanyMedia-Управління Персоналом», розроблених компанією «ІнтерТраст».

До недоліків віднесемо не розвинений контроль створюваних шаблонів, що призводить до помилок при роботі системи та незручність створення складних звітів [15].

13. *БОСС-Референт (AiTi)* – це система електронного документообігу, яка має власний генератор звітів і працює з БД Lotus Notes та його сховищем звітних форм. Для отримання звітної форми формується запит до БД (в стилі QBE). Автономного дизайнера звітної форми в даній системі не існує, проте є майстер створення таблиці звіту, в якій можна виконати форматування елементів таблиці (шрифти, формати представлення даних). Крім того, існує можливість створення формульних полів (VBScript). Для кожного стовпця таблиці можна вказати заголовок, виконати сортування за стовпцем

та знайти підсумок за стовпцем (сума, максимум, мінімум, кількість). Після чого можна відбирати документи відповідно до стовпців таблиці, створеної в майстрі звітів, причому список документів можна миттєво переглянути. Сформований звіт експортується в MS Excel або MS Word. При експорті задається заголовок звіту (рядок) [16].

14. *Гран-Док (Граніт Центр)*. Ця система є досить вузькоспеціалізованою та розроблена для муніципальних владних структур. Власне дизайнера звітних форм вона не має, не містить і звітів, що настроюються. Дана система працює з MS SQL Server, а друк типових звітів здійснюється в MS Word. У стандартну поставку входить приблизно 12 типових звітів. Крім того можна будь-який документ системи роздрукувати скориставшись процесором MS Word [17].

15. *Documentum (Documentum)*. За рекламними гаслами, це повнофункціональна платформа, що призначена для управління неструктурованою інформацією підприємства, але з наданих довідкових матеріалів неможливо зрозуміти функціонал та можливості цієї платформи щодо генератору звітів, окрім того, що існує гнучка інтеграція з MS Office та система має вбудовані та налагоджувальні звіти на основі шаблонів та вбудованих звітів Crystal Report. Швидше за все в системі є «налагоджувальні» звіти, проте дизайнера звітної форми як такого, в автономному вигляді, немає [19].

16. *CalliGraph (Сантел-Телеком)* – це генератор звітів зі своїм дизайнером і можливістю друку. В ньому можливий експорт звіту в MS Excel та підтримується робота з ODBC базами даних за технологією ADO, у версії 4 додана можливість роботи з СУБД CACHE.

Система створена у середовищі Delphi та позиціонується як самостійний ГЗ, причому як OLAP (On-Line Analytic Processing) засіб, в якому можливе створення аналітичних звітів з подальшою деталізацією за стовпцями. У системі *CalliGraph* існує досить зручний майстер таблиць, в результаті весь звіт подається у вигляді таблиці (матриці). Існують можливості по створенню аналітичних звітів за заданими параметрами (наприклад, аналіз цін за показником, розбиваючи його на діапазони (0-100, 101-1000 і т.і.) та можливості зі створення підсумків і груп. В системі можна застосовувати параметри та швидкий перегляд (вивести перші 10 записів БД в звіт), також є опції закриття нульових рядків і стовпців при друці. Отриманий звіт (матрицю, таблицю) можна експортувати в Excel. Крім того є можливість задавати псевдоніми для будь-яких таблиць і полів таблиць БД.

До недоліків можна віднести дуже слабкі засоби WYSIWYG при дизайнуванні і друкуванні звіту та складне налагоджування зв'язку з БД.

До переваг віднесемо розвинені засоби створення аналітичних звітів із розширеним заданням діапазонів і деталізацій (але відсутні діаграми, як в Excel).

Найближчим конкурентом за OLAP-засобами є системи SAS (SAS Inc.) і Crystal Analysis (Crystal Decisions). Ці системи створюють звіти з багатовимірним аналізом даних (наприклад, дата/ час, географія, продукти), побудовою діаграм та інше. Crystal Analysis, крім того, інтегрований з MS Excel [20].

17. *Cognitive Report (Cognitive Technologies Ltd.)* є генератором звітів зі своїм дизайнером звітної форми. Користувач може створити звітну форму довільного виду. Для зручності роботи передбачені: майстер табличних подань даних, майстер створення зв'язків таблиць БД і правил вибірки даних та майстер створення обчислюваних змінних. Доступ до інформації реляційних баз даних здійснюється через ODBC, ADO або DAO, а до СУБД «НІКА» за допомогою стандарту XNika (розробка компанії Cognitive Technologies).

У програмі передбачена можливість швидкого переформування таблиць даних (зміна кількості та розмірів колонок, перестановка колонок місцями), створення параметрів (параметаризація запиту до БД) та створення сортувальних полів необмеженої вкладеності. Передбачена також можливість створення складних таблиць зі змінним числом колонок в рядках, а також швидке створення ієрархій даних (переважно для СУБД «НІКА») –авторозміщення масиву з підпорядкованим йому масивом даних.

Готові звіти створюються в форматах RTF, Word DOC, HTML, Plain Text. Крім того, можливе створення звітів по звітних формах Crystal Report, а також їх конвертація у внутрішній формат Cognitive Report.

ГЗ Cognitive Report не поставляється як окремий продукт. ГЗ входить до складу пакетів Євфрат-Документообіг, Євфрат-Архів, лінійку продуктів, заснованих на XNika-технології, Документообіг для електронної торгівлі.

За результатами проведеного змістового та функціонального аналізу сучасних генераторів звітів, було виділено декілька групи ознак для порівняння, на базі яких складено порівняльні таблиці (табл. 1).

Таблиця 1

Таблиці порівнянь генераторів звітів

Ознака 1. Підтримка СУБД, дизайнер звітної форми, друк звітів, можливість експорту готових звітів (додаткові формати).

Найменування продукта	Підтримка СУБД	Дизайнер звітної форми ⁵⁾	Майстер швидкого створення таблиць/ієрархій	Виведення на друк власними засобами	Додаткові формати звітів	Засоби WYSIWYG (шаблон/друк) ⁶⁾
1. Oracle Report	Oracle, ODBC	+	—/—	+	—	+/+
2. Centura Report Builder	SQLBase, ODBC ¹⁾	+	—/—	+	Excel	+/+
3. Crystal Report	ODBC, ADO, DAO та інші.	+	—/—	+	Word, Excel, PDF, HTML, Plain Text, RTF etc.	+/+
4. SoDA	—	+ ³⁾	+/- ³⁾	— (Word)	Word	+/+ (Word)
5. MS Access	Access	+	—/—	+	Word	+/+
6. 1С:Підприємство	MS SQL Server	—	—/—	— (Excel)	Excel	—/+
7. Fast Report	ADO	+	—/—	+ ⁴⁾	—	+/+
8. LanDocs	Oracle, MS SQL	—	—/—	— (RTF)	RTF	—/—
9. NauDoc	ZoDB	—	—/—	— (HTML)	HTML	—/—
10. Optima-Workflow	ODBC ²⁾	+ ²⁾	—/—	— (Crystal Report)	—	+/+ ²⁾
11. PayDox	MS SQL, Access	—	+/-	— (HTML, Word)	Word, HTML	—/+ (Word)
12. Q&R	Lotus Notes	+ ³⁾	+/- ³⁾	— (Word)	Word	+/+ (Word)
13. БОС-Референт	Lotus Notes	—	+/-	— (Excel, Word)	Excel, Word	—/+ (Word)
14. Гран-Док	MS SQL Server	—	—/—	— (Word)	Word	—/—
15. Documentum	ODBC, Lotus Notes	—	—/—	— (Word, Excel)	Word, Excel, HTML	—/+ (Word)
16. CalliGraph	ADO, CACHE	+	+/-	+	Excel	—/+
17. Cognitive Report	ADO, DAO, ODBC, NIKA	+	+/+	— (Word, HTML)	Word, Plain Text, RTF, HTML	+/+

¹⁾ Існують проблеми з підключенням до довільних БД.

²⁾ В якості ГЗ використовується Crystal Report.

³⁾ Використовується MS Word, користувач в середовищі редактора Word створює шаблон за певними правилами.

⁴⁾ Існують проблеми під час виведення на друк.

⁵⁾ Дає можливість побудови звіту у довільній формі.

⁶⁾ Власні засоби WYSIWYG для дизайнування звітної форми/попереднього перегляду готового звіту.

Ознака 2. Наявність засобів створення обчислювальних полів та параметризації запитів.

Найменування продукта	Створення обчислювальних полів	Створення параметрів запиту	Створення системних змінних ¹⁾	Сортування звіту за реквізитами	Автоматичний підрахунок підсумків	Наявність майстра зв'язків таблиць БД
1. Oracle Report	+	+	+	+	+	+
2. Centura Report Builder	+	+	+	+	+	+
3. Crystal Report	+	+	+	+ ⁷⁾	+	+
4. SoDA	+ (VB Script)	—	+ (Word)	—	—	—
5. MS Access	+ (VBA)	+/- ⁴⁾	+	+	—	+
6. 1С:Підприємство	—	—/+ ⁵⁾	—	+	—	—
7. Fast Report	+	+	+	+	+	+
8. LanDocs	—	—	—	—	—	—
9. NauDoc	—	—/+ ⁵⁾	—	+	—	—

Найменування продукта	Створення обчислювальних полів	Створення параметрів запиту	Створення системних змінних ¹⁾	Сортування звіту за реквізитами	Автоматичний підрахунок підсумків	Наявність майстра зв'язків таблиць БД
10. Optima-Workflow	+ ²⁾	+ ²⁾	+ ²⁾	+ ²⁾	+ ²⁾	+ ²⁾
11. PayDox	+ (VB Script)	+/- ⁴⁾	+	+	+	–
12. Q&R	+ (Word)	+	+ (Word)	+	+	–
13. БОСС-Референт	+ (VB Script)	+	+	+	+	–
14. Гран-Док	–	–	–	–	–	–
15. Documentum ⁶⁾	+	+/-	+	+	⁶⁾	⁶⁾
16. CalliGraph	+	+	+	+	+	+
17. Cognitive Report	+ ³⁾	+	+	+	+	+

¹⁾ Змінні для швидкого обчислення дати друку, № в рядку, № в групі, № сторінки і т. ін.

²⁾ В якості ГЗ використовується Crystal Report.

³⁾ Обмежений набір обчислювальних змінних та поля результату SQL-запиту, який був створений користувачем.

⁴⁾ Є можливість параметризувати запит, але тільки константами.

⁵⁾ Можливість задавати часовий діапазон для фільтрації запису

⁶⁾ Немає достовірних даних

⁷⁾ Можливе сортування за формулою (обчислювальною змінною)

Ознака 3. Наявність розвинутих засобів роботи з графікою та OLAP-засобів.

Найменування продукта	Додавання зображень	Деталізація звіту за реквізитами	Подання звіту у вигляді діаграм	Створення крос-таблиць	Створення аналітичних звітів ⁵⁾	Графіка (лінії, прямокутники і т.і.) ⁶⁾
1. Oracle Report	+	С	–	+	+	+
2. Centura Report Builder	+	–	–	–	–	+
3. Crystal Report	+	+ ¹⁾	+ ¹⁾	+	+ ¹⁾	+
4. SoDA	+	–	–	–	–	+ (Word)
5. MS Access	+	–	–	–	–	+
6. 1С:Підприємство	+	–	+	–	+	–
7. Fast Report	+	–	–	–	–	+
8. LanDocs	–	–	–	–	–	–
9. NauDoc	–	–	–	–	–	–
10. Optima-Workflow	+ ²⁾	–	–	+ ²⁾	–	+ ²⁾
11. PayDox	–	–	+	–	–	–
12. Q&R	+ (Word)	–	–	–	–	+ (Word)
13. БОСС-Референт	–	–	–	–	–	–
14. Гран-Док	–	–	–	–	–	–
15. Documentum	–	–	–	–	–	–
16. CalliGraph	–	+	–	+	+	–
17. Cognitive Report	+/- ³⁾	–	+/- ⁴⁾	–	–	+

¹⁾ Тільки з пакетом Crystal Analysis (поставляється окремо від Crystal Report).

²⁾ В якості ГЗ використовується Crystal Report.

³⁾ В поточній версії існує додавання тільки динамічних зображень з БД.

⁴⁾ Є можливість друку діаграм у складі засобів XNika (HIKA-OLAP).

⁵⁾ Мається на увазі принципова можливість створення звітів з деталізацією, багатовимірним аналізом даних, створення кросвимірних уявлень даних, швидке подання таблиць даних у вигляді діаграм і т. ін.

⁶⁾ Мається на увазі принципова можливість вставки у звітну форму та звіт графічних об'єктів (ліній, прямокутників і т.п.).

Таким чином, підсумовуючи отримані результати аналізу можна дійти таких основних висновків огляду.

– Системи ГЗ під силу придбати собі тільки великі компанії, тому що їх розробка справа трудомістка і дорога.

– Продажі генераторів звітів пострадянських розробників як окремого продукту дуже низькі через високі вимоги до систем подібного роду (крім того, сильна конкуренція з боку провідних

виробників ГЗ – наприклад, Crystal). Продажі відбуваються в складі великого програмного комплексу (наприклад, Документообігу, Архівної системи і т.і.).

- В основному генератори звітів існують в рамках досить потужних інформаційних систем і поставляються разом з ними.

- В основному (частково в силу першого висновку) використовуються не дизайнери звітної форми, а майстри створення табличних звітів з полів БД і обчислюваних змінних.

- У великих ГЗ з розвиненими засобами дизайнування звітної форми відсутні майстри таблиць і табличних подань даних (аналогічний «експрес-висновок» існував в СУБД ІНЕС [21]).

- Якщо розробники ГЗ використовують власні засоби виведення на друк, а не інтегруються з текстовими редакторами, це створює масу проблем при роботі ГЗ з кожним конкретним, особливо новим, друкуючим пристроєм.

- Все частіше в звітах з'являються затребувані засоби OLAP (аналіз за кількома показниками, візуалізація у вигляді діаграм і т.і.).

- Користувачу потрібні або повний набір необхідних звітів, або засоби створення звітів за зразком (типових звітів, що поставляються з системою).

- Пріоритетними напрямками розвитку ГЗ можуть бути: полегшення життя користувачеві (створення розвинутого майстра таблиць, автоматичного підрахунку підсумків, поліпшення зручностей дизайнера звітної форми і т.і.), створення мінімальних засобів OLAP (подання таблиць у вигляді графіків і діаграм, інтеграція з MS Excel), розширення формульного набору (через VB Script), тісніша інтеграція з вхідними формами документів прикладних програмних комплексів (систем документообігу та ін.).

- Програми генерації звітів є високо затребуваними і розвиваються високими темпами.

- При розвинених засобах швидкого конструювання таблиць даних для звітних форм, відсутні (крім Cognitive Report) засоби конструювання ієрархій і послідовностей реквізитів.

- Відсутня (крім Cognitive Report) можливість виводу БД або будь-якого її фрагмента у вигляді дерева відповідно до схеми БД.

- Відсутні засоби швидкого переформування всієї структури звіту (наприклад, якщо потрібно скласти звіт за іншими показниками зі зміною угруповань і зв'язків між таблицями). Таку проблему можна було б вирішити за допомогою представлення схеми реляційної БД у вигляді дерева з швидким «переважуванням» гілок. Втім, це окрема велика задача, не обов'язково характерна для ГЗ.

Список використаних джерел

1. Киты индустрии. Хероx меняет стратегию // Computer Week Moscow. –1995. — № 25. — С. 38.
2. Internet и телекоммуникации. Электронные документы изменяют представление об информации // Computer Week Moscow. — 1996. — № 8. — С. 21.
3. World Wide Web Consortium. Extensible Markup Language (XML) 1.0. W3C Recommendation [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.w3.org/TR/1998/REC-xml-19980210#dt-valid>.
4. Офіційний сайт організації W3C [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.w3.org/>.
5. Gupta Technologies [Електронний ресурс] / INTERFACE Ltd.– Режим доступу: <http://www.interface.ru/fset.asp?Url=/gupta/gupta.htm>.
6. Rational Rose INTERFACE Ltd. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.interface.ru/rational/rosemain.htm>.
7. Проектирование ПО, управление проектами, тестирование ПО, CASE-средства. Программные продукты IBM Rational Software [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.interface.ru/fset.asp?Url=/rational/ratline.htm>.
8. Rational Publishing Engine [Електронний ресурс] // IBM Software. — Режим доступу: <http://www-306.ibm.com/software/awdtools/soda/>.
9. 1С. Работа с отчетами [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://v8.1c.ru/trade/analit.htm>.
10. Fast Reports. Генераторы отчетов [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.fastreport.ru/ru/index.php>.
11. Компания Ланит [Електронний ресурс] // LanDocs. — Режим доступу: <http://www.landocs.ru/>.
12. Naumen [Електронний ресурс] // Документ з офіційного сайту компанії. — Режим доступу: <http://naumen.ru/go/products/naudoc/changes>.
13. Optima software [Електронний ресурс] // Офіційний сайт компанії Optima software. — Режим доступу: www.optima-workflow.ru.
14. Paydox Collaboration Suite [Електронний ресурс] // Электронный документооборот и совместная работа Офіційний сайт системи. — Режим доступу: <http://www.paydox.ru/>.
15. Intertrust. Офіційний сайт компанії ІнтерТраст [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.intertrust.ru/Site2/mainstre.nsf/x/4B859E7371D8E98BC32568EA003ABCBA>.
16. АйТи / Ресурс з офіційного сайту групи «АйТи» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.it.ru/boss/referent/reportsman.html>.

17. Гранит Центр [Електронний ресурс] // Ресурс з офіційного сайту ВАТ «Науково-виробниче підприємство «Граніт-Центр». — Режим доступу: http://www.granit.ru/products_info.asp?id=10#co.
18. ЭОК (Электронные офисные системы) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://eos.ru/eos/21005>.
19. DELL EMC [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.documentum.ru/products/index.html>.
20. Calligraph — OLAP-генератор отчетов для конечного пользователя [Електронний ресурс] // Calligraph5. — Режим доступу: <http://www.calligraph.ru>.
21. Емельянов Н. Е. Введение в СУБД ИНЕС / Н. Е. Емельянов. — М. : Наука, 1998. — С. 203—207.

Анна ПОГРОМСКАЯ, Наталья МАХРОВСКАЯ

г. Николаев

СРЕДСТВА ГЕНЕРАЦИИ ОТЧЕТОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Статья посвящается анализу современных программных средств генерации отчетов по информации из баз данных и тенденций их развития и возможностей. Приводится сравнительный анализ генераторов отчетов по разным критериям и общие выводы относительно их применения.

Ключевые слова: генератор отчетов, OLAP, отчет, база данных, отчетная форма.

Hanna POHROMSKA, Natalia MAKHROVSKA

Mykolaiv

THE REPORTING TOOLS: COMPARATIVE ANALYSIS AND TRENDS OF DEVELOPMENT

The article is devoted to the analysis of modern software for reporting information from databases and their development trends and opportunities. Presented comparative analysis reporting tools for different criteria and was made general conclusions regarding their application.

Key words: reporting tool, the OLAP, reports, database, reporting form.

Стаття надійшла до редколегії 07.10.2016

РОЗПІЗНАВАННЯ ФОРМИ ФАЗОВОЇ ТРАЄКТОРІЇ КОЛИВАНЬ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА ПІД РУХОМИМ ВІЗКОМ

Розглянуто спосіб розпізнавання форми фазової траєкторії коливань пружинного маятника під рухомим візком, яка відповідає нехаотичним рухам вантажу цього маятника. Спосіб базується на обчисленні інваріантних моментів зображень фазових траєкторій на фазовій площині.

Ключові слова: пружинний маятник, фазова площина, фазова траєкторія, центральні та інваріантні моменти.

У роботі Л. М. Куценко і О. М. Семківа [1] наведено спосіб розрахунку параметрів коливання у вертикальній площині пружинного маятника під рухомим візком, які б забезпечили нехаотичну траєкторію переміщення вантажу цього маятника. Вважається, що тіло пружини здійснює «двовимірне» коливання у вертикальній площині (подібно коливанню математичного маятника), і що конструктивно забезпечено незгинання осі пружини у поперечному напрямку (рис. 1). Для опису динаміки коливань необхідно визначити кінетичну і потенціальну енергії маятничкової системи, і за допомогою виразу лагранжіана скласти систему диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду. При цьому як узагальнені координати доцільно обрати такі параметри: $u(t)$ – горизонтальне зміщення візка; $v(t)$ – кут відхилення пружини від вертикалі; $w(t)$ – пружне подовження (скорочення) пружини.

Для забезпечення нехаотичних коливань вантажу маятника запропоновано [1, 2] прийом проєкційного фокусування, який дозволяє визначити набір параметрів – довжини пружини d , маси візка M і вантажу m маятника, коефіцієнта жорсткості пружини k , та умов інтегрування системи рівнянь Лагранжа другого роду: початкових положення u_0 і швидкості Du_0 візка, початкових кута відхилення v_0 і швидкості відхилення Dv_0 , а також початкових подовження пружини w_0 і швидкості подовження Dw_0 . Усі величини в умовних одиницях. Для «тестового» прикладу обрано $d = 5$; $M = 500$; $m = 86,8$; $k = 750$; $u_0 = 1$; $Du_0 = 1$; $v_0 = \pi/2$; $Dv_0 = 0$; $w_0 = 1$; $Dw_0 = 0$.

Сутність проєкційного фокусування полягає у наближеній побудові у фазовому просторі наближеної інтегральної кривої розв'язку системи рівнянь Лагранжа другого роду, та побудови її проєкції на координатну фазову площину, яка утворює фазову траєкторію. У загальному випадку геометричні образи цих кривих матимуть геометрично «заплутаний» вигляд (рис. 2, а). При певному критичному значенні (наприклад, параметра m) інтегральна крива зміниться на якісному рівні – тобто «сфокусується», і перетвориться в «закономірну» криву (рис. 2, б).

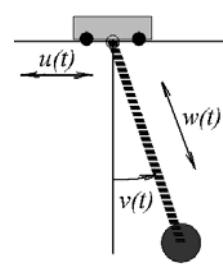


Рис. 1. Схема пружинного маятника під візком

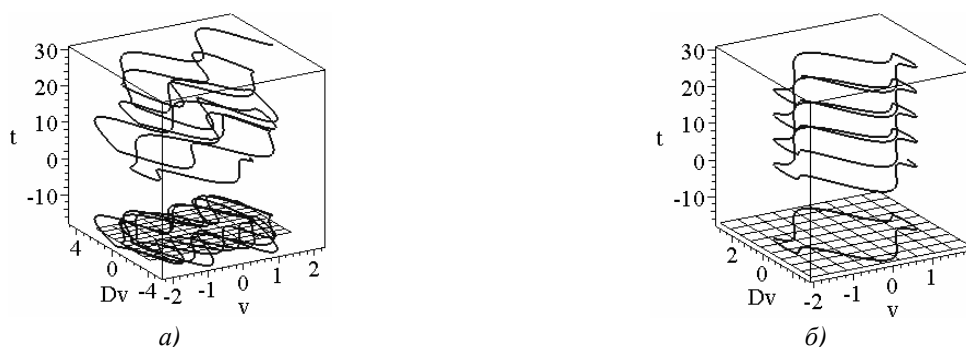


Рис. 2. Інтегральні криві і фазові траєкторії для:

а) випадкового значення m ; б) обчисленого критичного значення $m=86,8$

На фазових площинах, наприклад, на площині $\{v, Dv\}$, спостерігатиметься ніби оптичний ефект «наведення на різкість» плутанини фазових траєкторій (тобто проекційне фокусування [4, 5]).

На практиці проекційне фокусування має супроводжуватися побудовою графіка кількості пікселів на зображенні фазової траєкторії залежно від критичного значення змінного параметра, та визначенням екстремуму (мінімуму) цього графіка. Для формалізації знаходження екстремальних значень параметрів доцільно використовувати підходи, які базуються на ідентифікації фазових траєкторій коливань засобами розпізнавання образів.

Для визначення геометричних характеристик об'єктів на площині звичайно застосовують комбінації центральних моментів. Найпоширенішою є система інваріантних моментів Ming-Kuei Hu [3]. У роботі [6] надано пояснення ідеї побудови іншої групи моментів – афінних інваріантних, які базуються на геометрії трикутника, «жорстка» форма якого забезпечує інваріантність стосовно всіх афінних перетворень. Афінні інваріантні моменти докладно описані в роботах Флуссера Дж. і Сук Т. [4, 5].

Розробити спосіб розпізнавання форми фазової траєкторії коливань пружинного маятника під рухомим візком, яка відповідатиме нехаотичним рухам вантажу цього маятника; спосіб має базуватися на обчисленні інваріантних моментів зображень фазових траєкторій.

Для прикладу оберемо фігури кривих, які збігаються з обчисленими в роботі [1] фазовими кривими, що відповідають нехаотичним коливанням «тестового» пружинного маятника під рухомим візком (рис. 3, а). На рис. 3, б–г зображено фазові криві узагальнених координат $u(t)$; $v(t)$ і $w(t)$. Всі вони для аналізу коливань рівноцінні, адже одержані з тим самим набором параметрів коливання. Обираємо простішу криву зображену на рис. 3, г.

Обчисленню афінних моментів (1) для фігури (рис. 3, г) повинно передувати її визначення множиною точок M , яка для M має бути скелетною кривою. Множину M описано за допомогою R-кон'юнкції (тут і далі використано синтаксис мови Maple):

$$p := (a,b) \rightarrow (a + b - \text{abs}(a - b))/2.$$

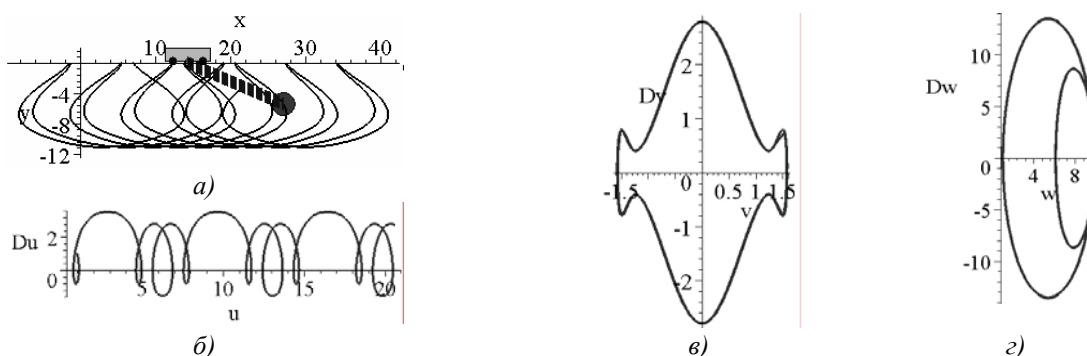


Рис. 3. Фазові траєкторії узагальнених координат пружинного маятника під рухомим візком

В результаті одержуємо опис у вигляді процедури-функції:

$$F1 := (x,y) \rightarrow 1 - (x-5)^2/5^2 - y^2/14^2;$$

$$F2 := (x,y) \rightarrow (x-7.5)^2/2.5^2 + y^2/9^2 - 1;$$

$$F := (x,y) \rightarrow E - \text{abs}(p(F1(x,y), F2(x,y)));$$

На рис. 4 наведено точкове зображення фазової траєкторії залежно від величини E .

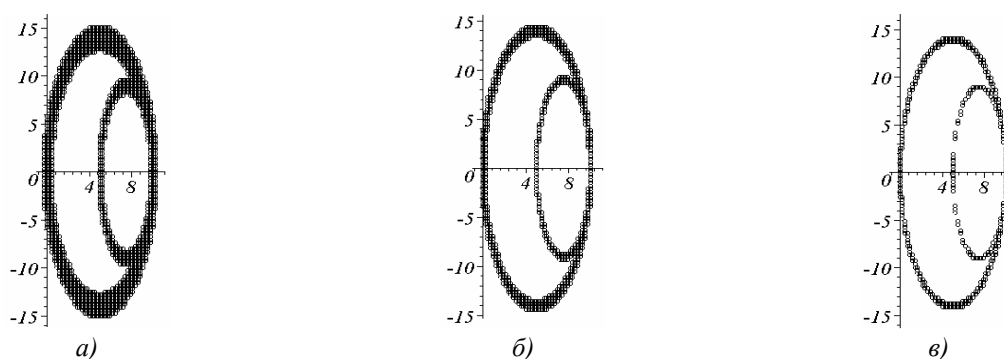


Рис. 4. Точкові зображення фазової траєкторії залежно від величини E : а) $E = 0,2$; б) $E = 0,1$; в) $E = 0,05$

Тут E – параметр, який відповідає за «товщину» скелетної множини. При цьому вважаємо, що при $F(x,y) \geq 0$ значення функції у вузлах дорівнює одиниці, а в інших точках - нулю. В подальших розрахунках обираємо $E=0,1$.

У роботі [6] описано приклади використання афінних інваріантних моментів $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7$ і I_8 :

$$I_1 = (\mu_{20}\mu_{02} - \mu_{11}^2) / \mu_{00}^4 ;$$

$$I_2 = (-\mu_{30}^2\mu_{03}^2 + 6\mu_{30}\mu_{21}\mu_{12}\mu_{03} - 4\mu_{30}\mu_{12}^3 - 4\mu_{21}^3\mu_{03} + 3\mu_{21}^2\mu_{12}^2) / \mu_{00}^{10} ;$$

$$I_3 = (\mu_{20}\mu_{21}\mu_{03} - \mu_{20}\mu_{12}^2 - \mu_{11}\mu_{30}\mu_{03} + \mu_{11}\mu_{21}\mu_{12} + \mu_{02}\mu_{30}\mu_{12} - \mu_{02}\mu_{21}^2) / \mu_{00}^7 ;$$

$$I_4 = (-\mu_{20}^3\mu_{03}^2 + 6\mu_{20}^2\mu_{11}\mu_{12}\mu_{03} - 3\mu_{20}^2\mu_{02}\mu_{12}^2 - 6\mu_{20}\mu_{11}^2\mu_{21}\mu_{03} - 6\mu_{20}\mu_{11}^2\mu_{12}^2) ; (1)$$

$$+ 12\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{21}\mu_{12} - 3\mu_{20}\mu_{02}^2\mu_{21}^2 + 2\mu_{11}^3\mu_{30}\mu_{03} + 6\mu_{11}^3\mu_{21}\mu_{12}$$

$$- 6\mu_{11}^2\mu_{02}\mu_{30}\mu_{12} - 6\mu_{11}^2\mu_{02}\mu_{21}^2 + 6\mu_{11}\mu_{02}^2\mu_{30}\mu_{21} - \mu_{02}^3\mu_{30}^2) / \mu_{00}^{11} ;$$

$$I_5 = \sqrt{-4I_1^3I_2^2 + 12I_1^2I_2I_3^2 - 12I_1I_3^4 - I_2I_4^2 + 4I_3^3I_4} ;$$

$$I_6 = (\mu_{40}\mu_{04} - 4\mu_{31}\mu_{13} + 3\mu_{22}^2) / \mu_{00}^6 ;$$

$$I_7 = (\mu_{40}\mu_{22}\mu_{04} - \mu_{40}\mu_{13}^2 - \mu_{31}^2\mu_{04} + 2\mu_{31}\mu_{22}\mu_{13} - \mu_{22}^3) / \mu_{00}^9 ;$$

$$I_8 = (\mu_{20}^2\mu_{04} - 4\mu_{20}\mu_{11}\mu_{13} + 2\mu_{20}\mu_{02}\mu_{22} + 4\mu_{11}^2\mu_{22} - 4\mu_{11}\mu_{02}\mu_{31} + \mu_{02}^2\mu_{40}) / \mu_{00}^7 .$$

де $\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x-x_t)^p (y-y_t)^q f(x,y) dx dy$ – центральні моменти; тут $x_t = m_{10}/m_{00}$, $y_t = m_{01}/m_{00}$ – координати центру ваги фігури.

Перевіримо значення обчислень афінних інваріантних моментів у випадку, коли растрове зображення буде повернуто відносно початку координат (рис. 5).

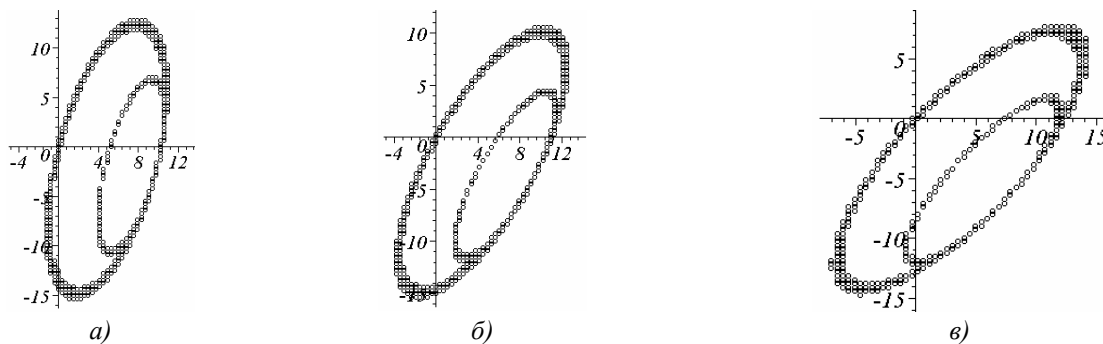


Рис. 5. Точкові зображення фазової траєкторії залежно від кута повороту (в радіанах):

а) $-0,25$; б) $-0,5$; в) $-0,75$

У табл. 1 наведено одержані значення афінних інваріантних моментів залежно від кута повороту растрового зображення. Близькість наведених у таблиці значень афінних інваріантних моментів «по горизонталі» дає підстави вважати, що вони задовольняють умові обертової симетрії.

Таблиця 1

Значення афінних інваріантних моментів

Поворот на $-0,25$ радіан	Поворот на $-0,5$ радіан	Поворот на $-0,75$ радіан
$I1 = 0.3369086751$	$I1 = 0.3347283639$	$I1 = 0.3321307677$
$I2 = -0.2477526604 \cdot 10^{-5}$	$I2 = -0.1969834753 \cdot 10^{-6}$	$I2 = -0.1205617469 \cdot 10^{-5}$
$I3 = -0.0004288648456$	$I3 = 0.0002155851546$	$I3 = -0.0002261356380$
$I4 = -0.002603916734$	$I4 = -0.001743784683$	$I4 = -0.006883437654$
$I5 = 0.3990461627 \cdot 10^{-5}$	$I5 = 0.7087230846 \cdot 10^{-6}$	$I5 = 0.7558940096 \cdot 10^{-5}$
$I6 = 0.4109719897$	$I6 = 0.4097992213$	$I6 = 0.4080777469$
$I7 = 0.05045606643$	$I7 = 0.05031200893$	$I7 = 0.05002547537$
$I8 = 0.4988623921$	$I8 = 0.4952657006$	$I8 = 0.4904453568$

Показана властивість дозволяє використовувати значення афінних інваріантних моментів як «еталонні» при аналізі множини фазових траєкторій під час пошуку критичного значення «керуючого» параметра.

Для одержання значень афінних інваріантних моментів у поза критичних випадках необхідно будувати зображення фазових траєкторій для довільних значень «керуючого» параметра m . На рис. 6 наведено точкові зображення фазових траєкторій залежно від значення m . Критичним значенням є $m = 86,8$, що погоджується з результатами роботи [1].

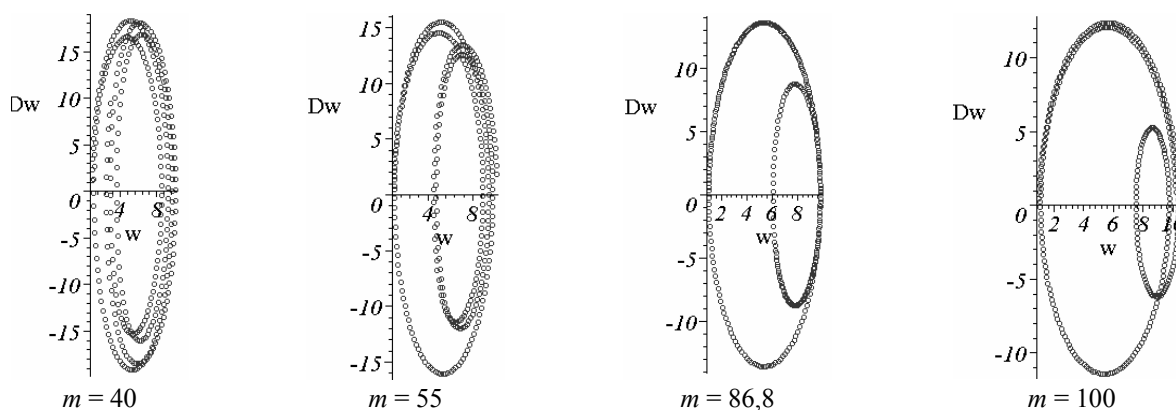


Рис. 6. Точкові зображення фазових траєкторій залежно від значення m

Для виявлення на формальному рівні критичного значення m слід виконати такі кроки.

Крок 1. Визначити значення афінних інваріантних моментів для «трафаретного» зображення фазової траєкторії у вигляді таблиці, яка відповідає критичному значенню «керуючого» параметра.

Крок 2. Побудувати послідовність точкових зображень фазових траєкторій залежно від значення «керуючого» параметра.

Крок 3. Одержати послідовність таблиць значень афінних інваріантних моментів залежно від значення «керуючого» параметра.

Крок 4. Здійснити порівняння поточної таблиці з «трафаретною».

Крок 5. У випадку збігу значень афінних інваріантних моментів у строках таблиць (з наперед заданою точністю) закінчити обчислення і зафіксувати критичне значення «керуючого» параметра; інакше – перехід до кроку 2.

У результаті проведених комп'ютерних експериментів було виявлено ідентичність траєкторій руху під візком вантажів пружинного маятника при таких комбінаціях параметрів:

- 1) $m_1 = 500$; $m_2 = 86,8$; $k = 750$ і $d = 5$;
- 2) $m_1 = 300$; $m_2 = 52,4$; $k = 450$ і $d = 5$;
- 3) $m_1 = 150$; $m_2 = 40$; $k = 250$ і $d = 5$.

Всі вони мають вигляд, зображений на рис. 7.

Складена програма комп'ютерної анімації дозволяє унаочнити результати коливань пружинного маятника під візком. А саме, зазначені коливання будуть ініціювати горизонтальне переміщення візка, яке пояснюється узгодженими з напрямком його руху процесами розпрямлення (рис. 7, а) і стиснення пружини (рис. 7, б).

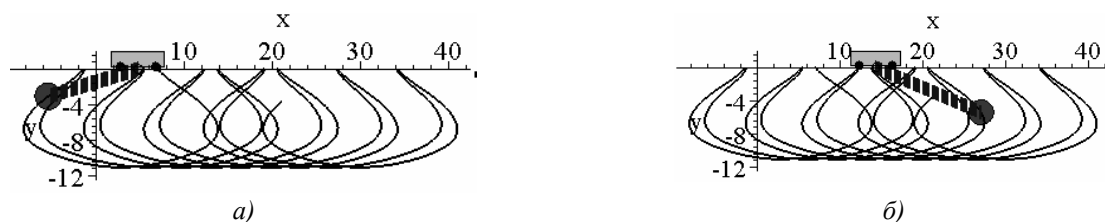


Рис. 7. Коливання пружинного маятника під візком при значеннях $m_1 = 500$; $m_2 = 86,8$; $k = 750$ і $d = 5$

Тобто, у першому випадку відстань між масами штучно збільшується, а у другому – зменшується, що впливає на положення візка. Напрямок і швидкість переміщення візка визначається початковою умовою $Du_0 = 1$ (праворуч) або $Du_0 = -1$ (ліворуч). Ці спостереження будуть корисними для аналізу причин руху різновидів інерціоїдів [7].

Розроблений спосіб розпізнавання форми фазової траєкторії коливань пружинного маятника під рухомим візком дозволить виявляти таку, яка відповідатиме нехаотичним рухам вантажу цього маятника. Спосіб базується на обчисленні інваріантних моментів зображень фазових траєкторій.

Список використаних джерел

1. Семків О. М. Дослідження ініціювання руху візка за допомогою коливання 2d-пружинного маятника / Л. М. Куценко, О. М. Семків // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. Праць. — Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2016. — Вип. 6. — С. 71—76.
2. Семків О. М. Графічний комп'ютерний спосіб визначення нехаотичних траєкторій коливань маятникових систем / О. М. Семків // Вестник Харьковского нац. автомобильно-дорожного университета. — Харьков : ХНАДУ, 2016. — Вип. 72. — С. 94—101.
3. Hu M. Visual pattern recognition by moment invariants / M. Hu // IRE Trans. Information Theory. — 1962. — Vol. IT-8. — P. 179—187.
4. Suk T. Graph method for generating affine moment invariants, in ICPR 2004 / T. Suk, J. Flusser // 17th International Conference on Pattern Recognition, IEEE Computer Society, 2004, pp. 192—195.
5. Flusser J. Construction of complete and independent systems of rotation moment invariants, in CAIP 2003 / J. Flusser, T. Suk // Computer Analysis of Images and Patterns, Springer, 2003, pp. 41—48.
6. Морозова Г. В. Спосіб ідентифікації цифр за допомогою низки афінних інваріантних моментів / Г. В. Морозова, О. І. Сухарькова // Праці ТДАТУ. Мелітополь : ТДАТУ, 2013. — Вип. 4.— Т. 57. — С. 150—155.
7. Толчин В. Н. Инерциод. Силы инерции как источник поступательного движения [Электронный ресурс] / В. Н. Толчин. — Пермь : Пермское книжное издательство, 1977. — 103 с. — Режим доступа: http://second-physics.ru/lib/books/tolchin_inertiod.djvu.

Olena SUKHARKOVA
Kharkiv

DISCERNMENT OF THE FORM OF THE PHASE TRAJECTORY OF FLUCTUATIONS THE SPRING PENDULUM UNDER THE RELATIVE FRAME CART

The way of a discernment of a form of a phase trajectory of fluctuations of a spring pendulum under the relative frame cart which answers not chaotic movements of freight of this pendulum is considered. The way is based on calculation of the invariant moments of images of phase trajectories on the phase plane.

Key words: a spring pendulum, the phase plane, a phase trajectory, the central and invariant moments.

Елена СУХАРЬКОВА
г. Харьков

РАСПОЗНАВАНИЕ ФОРМЫ ФАЗОВОЙ ТРАЕКТОРИИ КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА ПОД ПОДВИЖНОЙ ТЕЛЕЖКОЙ

Рассмотрен способ распознавания формы фазовой траектории колебаний пружинного маятника под подвижной тележкой, которая отвечает нехаотическим движениям груза этого маятника. Способ базируется на вычислении инвариантных моментов изображений фазовых траекторий на фазовой плоскости.

Ключевые слова: пружинный маятник, фазовая плоскость, фазовая траектория, центральные и инвариантные моменты.

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2016

ЗАСТОСУВАННЯ СЛОВНИКОВИХ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ДЛЯ КОМПРЕСІЇ АУДІО ДАНИХ З РЕГУЛЬОВАНИМИ ВТРАТАМИ

Робота присвячена розробці метода стиснення аудіо даних з регульованими втратами за допомогою різницевого псевдо-аналогів з використанням словників.

Ключові слова: словники, аудіосемпли, механізм стиснення, алгоритм стиснення, стиснення з втратами.

На сьогоднішній день для ефективного стиснення звукової інформації використовують методи стиснення з втратами, серед яких можна виділити психоакустичні методи (MP3, AAC), а також методи стиснення на основі фракталів, вейвлетів та стохастичних диференціальних рівнянь [1].

Натомість, словникові методи безвтратного стиснення, такі, як метод Лемпеля-Зіва [2] та його модифікації [3–6], для звукової інформації дають лише незначну компресію, а іноді компресія взагалі відсутня. Спроби розробки словникового метода, який би вирішував цю проблему, були започатковані у роботі [7], де пропонується спосіб проєкційного стиснення інформації на основі словника. Однак, після проведення машинних експериментів зі стиснення звукової інформації було з'ясовано, що даний спосіб дає майже ті самі ступені компресії, що й метод Лемпеля-Зіва, будучи при цьому значно більш ресурсоємним.

Для досягнення більших ступенів компресії в таких задачах можна застосовувати словникове стиснення з втратами. Ціль даної роботи – продемонструвати спосіб, який би дозволяв це робити.

Спосіб стиснення, що пропонується, будемо називати способом різницевого псевдо-аналогів. Під час стиснення на вхід подається звукова інформація у вигляді потоку амплітудних значень звукового сигналу (аудіосемплів). Кодер містить словник у вигляді буферу, який вміщує L аудіосемплів. На початку стиснення словник заповнюється аудіосемплями з вхідного потоку. Кодер також містить спеціальний буфер вводу (кеш аудіосемплів), який вміщує l аудіосемплів ($l \ll L$) і постійно поповнюється з вхідного потоку. Після поповнення кеша аудіосемплів відбувається пошук різницевого псевдо-аналогів вмісту кеша у словнику.

Різницевою псевдо-аналогом (РПА) довжини p будемо називати блок з $p \leq l$ аудіосемплів зі словника, який задовольняє наступній умові:

$$|q_{i+j} - s_i - r| \leq \delta, \quad i = \overline{1, p}, \quad (1)$$

де q_{i+j} – аудіосемпли зі словника; j – позиція РПА у словнику; s_i – відповідні аудіосемпли з кеша; r – середня різниця РПА; δ – задана допустима похибка значення аудіосемплів.

Середня різниця РПА є середнім арифметичним різниць між значеннями відповідних аудіосемплів з РПА та кеша:

$$r = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p q_{i+j} - s_i.$$

Таким чином, значення аудіосемплів РПА відрізняються від відповідних значень аудіосемплів кеша на різницю r в межах заданої допустимої похибки δ . Якщо $r = 0$, то такий РПА будемо називати простим псевдо-аналогом (ППА).

Механізм стиснення полягає у тому, що при знаходженні РПА замість відповідної частини кеша зберігається лише позиція РПА j у словнику, довжина РПА p та різниця r . Тобто, частина кеша семплів замінюється відповідним поданням через вміст словника. При цьому, якщо $\delta > 0$, то неважко переконатись, що відбувається стиснення з втратами.

Під час стиснення можливі 3 варіанти ситуацій:

- знайдений РПА ($r \neq 0$) – необхідно зберегти j , p та r ;
- знайдений ППА ($r = 0$) – необхідно зберегти лише j та p ;
- не знайдено ані РПА, ані ППА – необхідно вилучити перший аудіосемпл з кешу і зберегти його в явному вигляді.

Таким чином, результати стиснення будуть одного з трьох типів: РПА, ППА або окремий аудіосемпл з кешу. Для збереження результатів стиснення пропонується використовувати такі бітові структури:

- РПА:

1	1	j	p	r
---	---	-----	-----	-----

- ППА:

1	0	j	p
---	---	-----	-----

- окремий аудіосемпл з кешу:

0	s_1
---	-------

Перший зліва біт цих структур дає змогу відрізнити псевдо-аналог від аудіосемпла з кешу. Наступний біт дозволяє відрізнити РПА від ППА і визначити, чи потрібно буде зчитувати різницю r наприкінці.

Розміри полів структури під j та p визначаються таким чином:

$$size(j) = \text{ceil}(\log_2 L),$$

$$size(p) = \text{ceil}(\log_2 l),$$

де ceil – операція округлення до найближчого більшого; L , l – відповідно кількість аудіосемплів у словнику та у кеші.

Розміри полів під r та s_1 однакові і дорівнюють бітовій розрядності b семплів аудіопотоку. Якщо значення r неможливо розмістити у b бітах:

$$\text{ceil}(\log_2 r) > b, \quad (2)$$

то такий РПА повинен бути відкинутий.

Наведемо алгоритм стиснення потоку аудіосемплів у вигляді послідовності дій. На початку стиснення задається розмір словника L , розмір кешу аудіосемплів l , а також допустима похибка значень аудіосемплів δ . На вхід алгоритму подається потік аудіосемплів, на виході генерується потік результатів стиснення (архів).

Алгоритм стиснення.

- Крок 1. Заповнити словник L аудіосемплами з вхідного потоку та зберегти початковий стан словника у архіві.
- Крок 2. Обнулити поточне заповнення w кеша аудіосемплів: $w = 0$ (кеш пустий).
- Крок 3. Поповнити кеш аудіосемплів з вхідного потоку з оновленням поточного заповнення кеша w .
- Крок 4. Відповідно до бітової структури для збереження РПА обчислити мінімальну кількість z аудіосемплів у РПА, при якій буде досягнута хоча б мінімальна компресія:

$$z = \text{ceil} \left[\frac{2 + size(j) + size(p)}{b} + 1 \right].$$

- Крок 5. Відповідно до умови (1) для p починаючи з w до z шукати по всьому вмісту словника РПА довжиною p . При цьому відкидати РПА, які задовольняють умові (2). Серед всіх знайдених РПА обрати той, для якого

$$\sum_{i=1}^p |q_{i+j} - s_i| \rightarrow \min,$$

де q_{i+j} – аудіосемпли зі словника; j – позиція РПА у словнику; s_i – відповідні аудіосемпли з кеша.

- Крок 6. Якщо РПА на кроці 5 був знайдений, то:
- зафіксувати значення j, p та різниці r ;
 - якщо $r \neq 0$, то зберегти РПА в архіві за допомогою відповідної бітової структури; інакше – зберегти РПА за допомогою структури для ППА;
 - вштовхнути знайдений РПА у словник (словник організований у вигляді черги FIFO).
- Якщо РПА не було знайдено, то:
- прийняти довжину РПА $p = 1$;
 - зберегти в архіві тільки перший аудіосемпл з кеша за допомогою відповідної бітової структури;
 - вилучити цей аудіосемпл з кеша та вштовхнути його у словник.
- Крок 7. Вилучити оброблену частину кеша довжиною p та оновити заповнення кеша: $w = w - p$.
- Крок 8. Якщо не досягли кінця вхідного потоку, перейти до кроку 3.
- Крок 9. Кінець алгоритму.

Відтворення аудіосемплів з архіву є значно більш простою задачею. Необхідно лише прочитати з архіву початковий стан словника, а далі читати закодовані результати стиснення та виконувати декодування і відповідні дії:

- якщо одержані дані про РПА або ППА (, та), то відтворити відповідний блок аудіосемплів на основі вмісту словника, записати його у відтворюваний аудіопотік і вштовхнути у словник;
- якщо одержаний окремий аудіосемпл, то записати його в явному вигляді у відтворюваний аудіопотік і вштовхнути у словник.

Вищезазначені дії виконуються до тих пір, поки не буде досягнуто кінець архіву.

Запропонований спосіб різницевих псевдо-аналогів (СРПА) був реалізований програмно мовою програмування С. Також, програмно був реалізований спосіб стиснення LZSS [4] (одна з модифікацій метода Лемпеля-Зіва). Були проведені машинні експерименти зі стиснення монофонічних звукових файлів формату RAW PCM, 8 біт/семпл, 22 кГц за допомогою цих способів. У табл. 1 та 2 наведені результати стиснення звукових файлів, що містять реальні музичні аудіозаписи:

- 1) voodooch.raw – пісня «Voodoo child» Джімі Хендрікса (блюзово-рок-н- рольна музика).
- 2) hero.raw – пісня «Hero» групи Nickelback (рок-музика);
- 3) oskolok.raw – пісня «Осколок льда» групи АРИЯ (важка рок-музика);
- 4) disciple.raw – пісня «Disciple» групи Slayer (надважка рок-музика).

Результати стиснення за способом різницевих псевдо-аналогів одержані при наступних параметрах:

- 1) розмір словника $L = 125$ аудіосемплів;
- 2) розмір кешу аудіосемплів $l = 7$ аудіосемплів;
- 3) допустима похибка значень аудіосемплів $\delta = 1$ (мінімальні втрати).

Результати стиснення за способом LZSS одержані при розміру словника 4096 символів і розміру буфера вводу/виводу 16 символів.

Таблиця 1

Розміри звукових файлів до і після стиснення

Звуковий файл	Розмір до стиснення, байт	Розмір після стиснення, байт	
		СРПА	LZSS
voodooch.raw	6 964 417	2 971 696	4 452 455
hero.raw	3 254 977	1 867 521	2 681 712
oskolok.raw	7 181 569	4 174 509	6 017 960
disciple.raw	4 757 761	3 955 270	4 874 740

Таблиця 2

Досягнуті ступені компресії звукових файлів

Звуковий файл	Ступінь компресії при стисненні	
	СРПА	LZSS
voodooch.raw	2,34	1,56
hero.raw	1,74	1,21
oskolok.raw	1,72	1,19
disciple.raw	1,20	0,98

Як можна бачити, для обох способів (СРПА, LZSS) має місце загальна тенденція: для аудіозаписів більш важкої музики ступені компресії є меншими. При цьому, навіть за умов мінімальних втрат, СРПА дозволяє досягти більшої компресії, ніж LZSS, при значно меншому розмірі словника.

Єдиним недоліком СРПА є те, що відбувається спотворення аудіопотоку. З'являється шум з амплітудою δ (δ – допустима похибка значень аудіосемплів). Для аудіозаписів з 8 бітами на семпл шум є відчутним на слух вже при $\delta > 1$. Ця обставина поки що обмежує можливість використання розробленого способу для ефективного стиснення звукових даних.

У подальшому планується вдосконалення запропонованого способу з метою усунення шуму та підвищення ступені компресії.

Список використаних джерел

1. Приходько С. Б. Сжатие звука на основе стохастических дифференциальных уравнений второго порядка // Вестник Херсонского государственного технического университета. — Херсон : ХГТУ. — 2002. — Вып. 2(15). — С. 386—388.
2. Ziv J., Lempel A. A universal algorithm for sequential data compression // IEEE Transaction on Information Theory — 1977. — Vol. 23(3). — P. 337—343.
3. Ziv J., Lempel A. Compression of individual sequences via variable-rate coding // IEEE Transaction on Information Theory — 1978. — Vol. 24(5). — P. 530—536.
4. Storer J. A., Szymanski T. G. Data compression via textual substitution // Journal of ACM. — 1982. — Vol. 29(4). — P. 928—951.
5. Welch T. A. A technique for high-performance data compression // IEEE Computer — 1984. — Vol. 17(6). — P. 8—19.
6. Bender P., Wolf J. New asymptotic bounds and improvements on the Lempel-Ziv data compression algorithm // IEEE Transactions on Information Theory — 1991. — Vol. 37(3). — P. 721—727.
7. Кириченко Н. Ф., Лепеха Н. П., Попив И. А. Допустимая аппроксимация функций дискретного аргумента и ее применение к сжатию информации // Проблемы управления и информатики. — 1998. — № 5. — С. 113—127.

Serhiy USTENKO, Serhiy LUKYANCHIKOV
Mykolaiv

APPLICATION DICTIONARY COMPRESSION METHOD FOR COMPRESSION OF AUDIO DATA WITH ADJUSTABLE LOSS

The work is dedicated to the development of audio data compression method with adjustable losses using pseudo-difference analogs using dictionaries

Key words: dictionary, audio samples, the mechanism of compression, compression algorithm, lossy compression.

Сергей УСТЕНКО, Сергей ЛУКЬЯНЧИКОВ
г. Николаев

ПРИМЕНЕНИЕ СЛОВАРНОГО МЕТОДА СЖАТИЯ ДЛЯ КОМПРЕССИИ АУДИО ДАННЫХ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПОТЕРЯМИ

Работа посвящена разработке метода сжатия аудио данных с регулируемыми потерями с помощью разностных псевдоаналогов с использованием словарей.

Ключевые слова: словари, аудиосемплы, механизм сжатия, алгоритм сжатия, сжатие с потерями.

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2016

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ КОМУНІКАЦІЙ НА ОСНОВІ ДИСКРЕТНО-ІНТЕРПОЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ

Актуальність даної роботи полягає у розробці ефективних сучасних методів геометричного моделювання транспортних комунікацій у вигляді складних криволінійних поверхонь у зв'язку з суттєвим підвищенням сучасних вимог щодо якості процесів проектування таких об'єктів.

Ключові слова: однопараметрична множина, дискретно задані функції, інтерполяція, вузол інтерполяції, транспортні комунікації.

Геометричне моделювання складних криволінійних поверхонь – це досить складна задача й водночас важлива проблема, які часто зустрічаються при проектуванні певних технічних об'єктів, наприклад, різного роду транспортних комунікацій, а саме, автомобільних доріг, тунелів тощо.

У переважній більшості випадків такі поверхні не можуть бути задані аналітично, тобто неможливо отримати аналітичну (континуальну) модель цих поверхонь. Стає зрозумілим, що отримати математичну модель таких об'єктів можливо тільки у дискретному вигляді. Необхідно зазначити, що дискретний спосіб представлення геометричної інформації щодо об'єкта, що моделюється, є, як відомо, універсальним і одним з раціональних.

Одним з типових і поширених способів представлення дискретних моделей складних поверхонь, що не піддаються аналітичному опису, при моделюванні технічних форм є використання дискретних каркасів (точкових або ж лінійних). І, як показує практика геометричного моделювання, такі моделі оптимально підходять для алгоритмізації та подальшого проектування.

Дискретний підхід, а в нашому випадку саме дискретно-інтерполяційний, можна вважати більш загальним, тому що від неперервно-аналітичної моделі практично завжди можна перейти до дискретної.

У якості інтерполяційних поліномів для побудови певних інтерполяційних схем моделювання пропонується використати інтерполяційні поліноми Лагранжа. Вибір саме інтерполяційних поліномів Лагранжа, на нашу думку, серед певної кількості інших інтерполяційних поліномів є оптимальним, що обумовлено, по-перше, необов'язковим рівномірним розташуванням вузлів інтерполяції, що дуже важливо з практичної точки зору, по-друге, можливістю представлення по кожній змінній своєї кількості вузлів інтерполяції. На основі цього ми зможемо отримати дискретні геометричні моделі різних досить складних криволінійних поверхонь.

Особливо підкреслимо нетрадиційність даного підходу, яка полягає у тому, що під вузлами інтерполяції розуміються не точки, а більш складні геометричні об'єкти, наприклад, лінії та поверхні, що представлені у вигляді деяких функціоналів, як сукупності їх властивостей та параметрів. Під схемою інтерполяції надалі будемо розуміти схему розташування саме таких її вузлів. Використання таких інтерполяційних схем дозволить нам отримати деяку однопараметричну множину об'єктів, зокрема поверхонь.

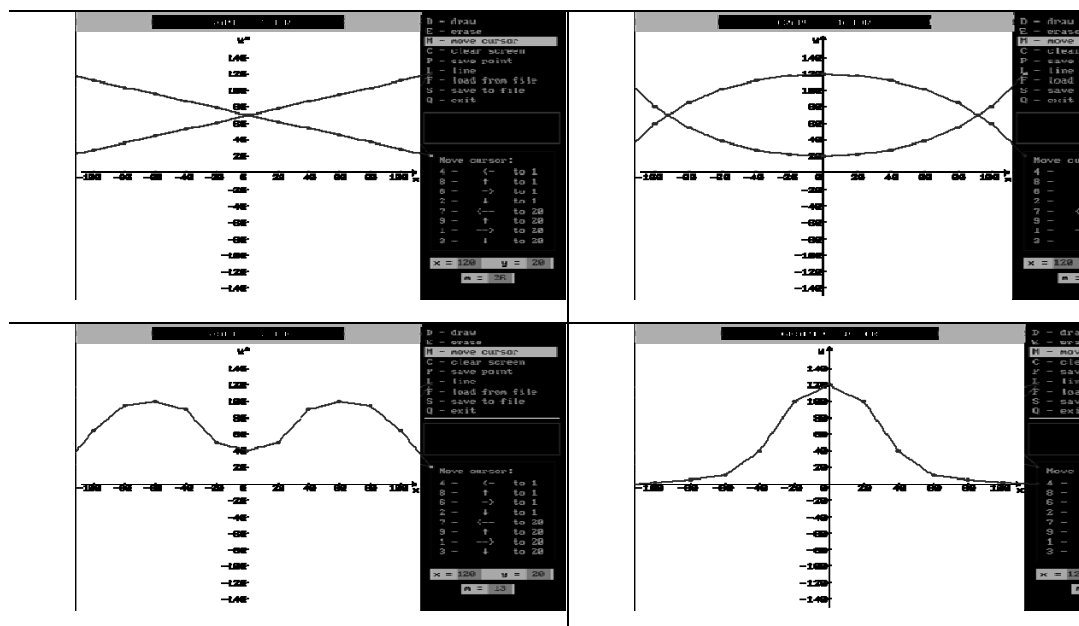
Отримані таким чином однопараметричні множини, є дискретно-інтерполяційними математичними моделями багатопараметричних об'єктів. Елементом таких множин є деяка дискретна функція, або ж функціонал, що у загальному випадку може бути представлений, як дискретний чисельний масив, розмірність якого може варіюватись.

Інтерполювання таких дискретних функцій чи функціоналів здійснюється таким чином: у вузлах інтерполяції розміщуються певні базові функції, а саме дискретні масиви. Ці базові вузлові функції формуються певним чином, і це може залежати від конкретних технічних умов об'єктів. Тобто фактично йдеться про моделювання за наперед заданими умовами, що також є оригінальним елементом цієї роботи.

У табл. 1 наведені такі вузлові функції у вигляді певних дискретних ліній. Це, у свою чергу, дає можливість отримати деякий функціонал $\Phi(p_{ij})$, з вектором параметрів, що включає в себе інтерполяційний параметр, координатні змінні, параметри, що характеризують форму та положення об'єктів.

Таблиця 1

Приклади формування вузлових функцій



Наведемо інтерполяцію дискретних масивів у загальному випадку, як оригінального та універсального способу моделювання багатопараметричних складних технічних об'єктів, а саме в нашому випадку, складних поверхонь.

Нехай $F(p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m)$ – багатопараметрична неявно задана функція. Сформуємо її у вигляді деякого функціонала $\Phi(p_{ij})$, що заданий матрицею $M[i, j]$.

$$F(p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m) = M[i, j],$$

де

$$M[i, j] = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & \dots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & \dots & p_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m,1} & p_{m,2} & \dots & \dots & p_{m,n} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

Розглядаючи (1) у якості певного вузла інтерполяції, використаємо інтерполяційний поліном Лагранжа. У випадку одновимірної інтерполяції отримаємо $M[i, j]$ як

$$M_n[i, j] = \sum_{i=0}^{n-1} M_i[i, j] \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{u - u_j}{u_i - u_j}, \quad (2)$$

де n – кількість вузлів інтерполяції, u – параметр $M[i, j]$, відповідний проміжному перерізу (положенню або ж стану).

Відповідно, поліном Лагранжа може набути такого вигляду:

$$\Phi(u)_n = \sum_{i=0}^{n-1} F_i(p_1, p_2, \dots, p_m) \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{u - u_j}{u_i - u_j}, \quad (3)$$

де u – параметр інтерполяції, $F(p_1, p_2, \dots, p_k)$ – вузлова функція, p_1, p_2, \dots, p_k – параметри вузлової функції, n – кількість вузлів інтерполяції.

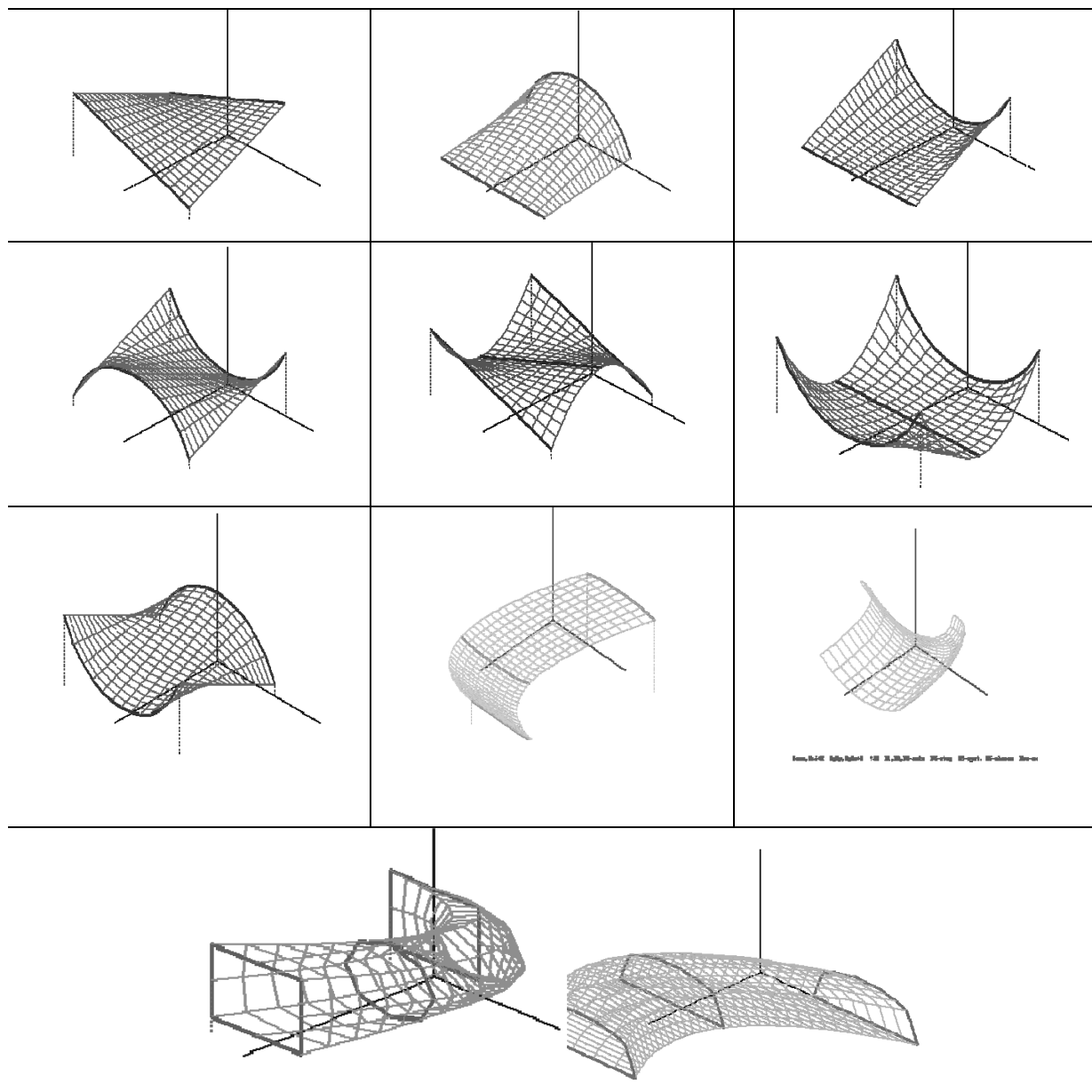
Тепер наведемо алгоритм процесу моделювання поверхонь:

1. Формування вузлових функцій у вигляді певних дискретних ліній за необхідною геометричною формою. Дискретною математичною моделлю їх є одновимірні чисельні масиви.
2. Форма цих ліній може бути довільною, або ж відповідати наперед заданим умовам, щодо майбутньої криволінійної технічної форми. Це особливо важливо на стадії попереднього ескізного проектування. Такі дискретні масиви формуються у відповідному, розробленому автором, програмному забезпеченні.
3. Сформовані бази даних, а саме вузлові функції, використовуються в роботі основної моделюючої програми, що дозволяє отримати дискретну геометричну модель майбутньої поверхні.
4. Виконується візуалізація змодельованої поверхні з вибором системи.

У табл. 2 наведені деякі приклади побудованих поверхонь за вказаним методом на основі різної кількості вузлів інтерполяції, що відмічені потовщеними лініями.

Таблиця 2

Побудова та візуалізація різноманітних поверхонь



Запропонований метод дозволяє моделювати складні криволінійні поверхні, які є геометричними моделями певних технічних об'єктів, а саме транспортних комунікацій, причому з наперед заданими умовами і має велику варіативність. Зазначимо, що такий підхід дозволяє включати в однопараметричну множину навіть об'єкти, що мають різну структуру і властивості. Також є раціональним застосування даного методу щодо моделювання багатопараметричних об'єктів і навіть середовищ, що характеризуються різноякісними параметрами, які часто просто неможливо функціонально-аналітично поєднати у звичайній математичній моделі.

Список використаних джерел

1. Холковський Ю. Р. Інтерполяція дискретних масивів у загальному випадку як спосіб моделювання багатопараметричних об'єктів та процесів / Ю. Р. Холковський // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. — Мелітополь : ТДАТУ, 2011. — Вип. 4 — Т. 51. — С. 156—160.
2. Холковський Ю. Р. Моделювання складних просторових форм із використанням дискретно-інтерполяційного підходу // Труды 14-й Международной научно-практической конференции «Современные проблемы геометрического моделирования». — Мелітополь : ТДАТУ, 2012. — С. 51—57.
3. Холковський Ю. Р. Побудова геометричних моделей технічних об'єктів із використанням дискретно-інтерполяційного підходу // Збірник наукових праць XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання». — Мелітополь, 2014. — Вип. 1. — С. 138—143.

Yuriy KHOLKOVSKY
Kyiv

MODELING OF TRANSPORT COMMUNICATIONS ON THE BASIS OF DISCRETE-INTERPOLATION METHOD

On the basis of alternative discrete-interpolation method, we consider the construction of geometric models of transport communications in the form of complex surfaces.

Key words: one-parameter set, discrete set of functions, interpolation, the interpolation node, transport communications.

Юрий ХОЛКОВСКИЙ
г. Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНО-ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО МЕТОДА

На основе нетрадиционного дискретно-интерполяционного метода рассмотрено построение геометрических моделей транспортных коммуникаций в виде сложных поверхностей.

Ключевые слова: однопараметрическое множество, дискретно заданные функции, интерполяция, узел интерполяции, транспортные коммуникации.

Стаття надійшла до редколегії 01.10.2016

СТЕРЕОМЕТРИЯ ИЗОПАРАМЕТРИЧНИХ АПРОКСИМАЦІЙ: НЕСТАНДАРТНІ БАЗИСИ

У статті розглядаються ізопараметричні апроксимації на скінченному елементі в формі одиничного квадрата. Описаний геометричний спосіб конструювання нестандартних базисів елемента 3-го порядку (бікубічна інтерполяція). Обговорюються геометричні аспекти парадоксу Зенкевича – фізичної неадекватності спектру вузлових навантажень від одиничної масової сили. Особливий інтерес для метода скінченних елементів (МСЕ) представляє візуалізація покрової процедури конструювання фінітних поверхонь вищих порядків із фрагментів площин та поверхонь другого порядку. Головна відмінність від стандартного (матричного) підходу полягає в тому, що інтерполяційний поліном містить прихований (невузловий) параметр, який дозволяє генерувати безліч нестандартних базисів. В цьому ключова ідея «м'якого» моделювання (по В. І. Арнольду).

Ключові слова: ізопараметричні апроксимації, бікубічна інтерполяція, скінченний елемент серендипового сімейства, «м'яке» моделювання, нестандартні базисні функції, «приховані» параметри, геометричний підхід, фізична невідповідність інтегральних середніх.

Відомо, що внутрішні вузли лагранжових скінченних елементів (СЕ) вищих порядків небажані, тому їх намагаються позбутись. Проте, усунення внутрішніх вузлів, як правило, фізичну неадекватність інтегральних характеристик базисних функцій. Вважається, що цей недолік усунути неможливо. Ми встановили, що ця омана є результатом недооцінення участі невузлових параметрів. Нагадаємо, що в рекомендованих процедурах конденсації (редукції) усунення внутрішніх вузлів супроводжується неминучим виключенням «внутрішніх» невузлових параметрів із схеми Паскаля. Ця помилка приводить до «жорсткої» математичної моделі. Проблема постає в створенні таких методів конструювання ізопараметричних СЕ, в яких внутрішні вузли вилучаються, а відповідні параметри (мономи) зберігаються. Один з таких методів описано нижче.

Найкраща апроксимація криволінійних границь розрахункової області досягається за допомогою криволінійних ізопараметричних СЕ [1]. Вперше такі елементи були використані Тейгом (1961 р.). Цю ідею узагальнили і розробили автори [2]. Пізніше Зенкевич і його колеги запропонували назвати ізопараметричні СЕ елементами серендипового сімейства. Перші базиси (їх називають стандартними) були отримані на канонічному квадраті ($|x| \leq 1, |y| \leq 1$). В літературі по МСЕ переважає саме ця версія [3–5]. В 1977 р. в англійському варіанті книги [6] з'явилися стандартні базиси першого, другого та третього порядків на одиничному квадраті ($0 \leq x, y \leq 1$).

До 1982 р. вважалося, що стандартні базиси є єдино можливими в ізопараметричних апроксимаціях, що підтверджувалось методом оберненої матриці, методом конденсації (Джордан, 1970), нематричним методом Тейлора (1972 р.).

Ймовірісно-геометричний метод конструювання нестандартних базисів вперше опублікований в [7, 8]. Так виникла і почала стрімко розвиватися конструктивна теорія ізопараметричних апроксимацій. Ми не будемо зупинятися на ймовірісному аспекті нового підходу, а просто покажемо, як геометрично зконструювати базис бікубічної ізопараметричної апроксимації.

Розглянемо одиничний квадрат (рис. 1), на границях якого виділено 12 рівномірно розташованих точок (x_i, y_i) і в кожній точці задано результат зміни функції f_i .

Інтерполяційний поліном зручно записати в формі Лагранжа:

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^{12} N_i(x, y) \cdot f_i, \quad (1)$$

де $N_i(x, y)$ – базисні функції, які мають наступні властивості:

$$N_i(x_k, y_k) = \begin{cases} 1, & i = k, \\ 0, & i \neq k; \end{cases}, \quad \sum_{i=1}^{12} N_i(x, y) = 1. \quad (2)$$

Крім того, уздовж границі, що містить вузол i , функція $N_i(x, y)$ змінюється по закону бікубічної параболи (бікубічна інтерполяція).

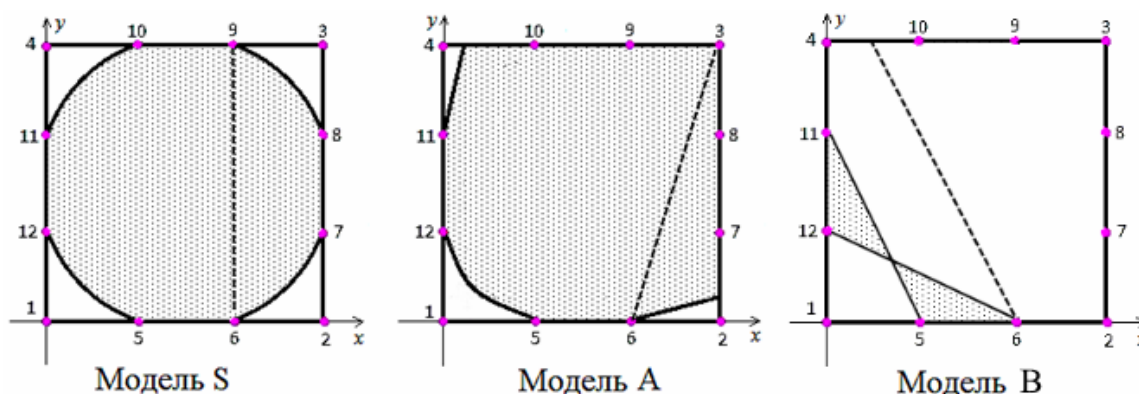


Рис. 1. Лінії нульового рівня поверхонь $N_1(x, y)$, для поверхонь $N_5(x, y)$ – пунктиром

Матричний метод, що панує в МСЕ, передбачає складання і рішення СЛАР з матрицею 12×12 . В результаті ми отримуємо лише стандартний базис. Дві характерні функції стандартної моделі [6] виписані нижче:

$$N_1(x, y) = \frac{9}{2}(1-x)(1-y) \left(x^2 + y^2 - x - y + \frac{2}{9} \right); \quad (3)$$

$$N_5(x, y) = \frac{9x}{2}(1-x)(1-y)(2-3x). \quad (4)$$

На рис. 1 показано лінії нульового рівня поверхонь $N_1(x, y)$ для стандартної моделі S та альтернативних моделей A і B.

Щоб отримати альтернативну модель A, достатньо окружність, що проходить через всі проміжні вузли, замінити параболою, що проходить через вузли 5, 6, 11, 12.

Функції, що характерні моделі A мають вигляд:

$$N_1(x, y) = \frac{1}{2}(1-x)(1-y)(9(x-y)^2 - 9(x+y) + 2), \quad (5)$$

аналогічно $N_i(x, y), i = 2, 3, 4$;

$$N_5(x, y) = \frac{9x}{2}(1-x)(1-y)(2-3x+y), \quad (6)$$

аналогічно $N_i(x, y), i = 6, 7, \dots, 12$.

Зауважимо, що на одиничному носії функції (5) і (6) побудовано вперше.

Щоб отримати альтернативну модель B, використаємо дві прямі, що перетинаються: 5-11 і 6-12. Характерні функції мають вигляд:

$$N_1(x, y) = \frac{1}{4}(1-x)(1-y)(6x+3y-2)(3x+6y-2), \quad (7)$$

аналогічно $N_i(x, y), i = 2, 3, 4$;

$$N_5(x, y) = -\frac{9x}{8}(1-x)(1-y)(12x+5y-8), \quad (8)$$

аналогічно $N_i(x, y), i = 6, 7, \dots, 12$.

На одиничному носії функції (7) і (8) побудовано вперше.

Альтернативні моделі А і В принципово відрізняються від стандартної моделі S наявністю 13-го монома x^2y^2 . Це «м'які» моделі [9]. «М'яких» моделей – безліч, навіть якщо обмежитись розглядом лише 13-параметричних інтерполянтів (1).

Для того, щоб оцінити можливості та особливості «м'якого» моделювання в задачах відновлення функцій двох змінних, виконаємо стереометричний аналіз поверхонь $N_i(x, y)$. Судячи за лініями нульового рівня (рис. 1), найбільш складний рельєф мають «кутові» поверхні.

Наприклад поверхня $N_1(x, y)$ стандартної моделі S утворюється «перемноженням» двох площин $z_1^{(1)} = 1 - x$, $z_1^{(2)} = 1 - y$ і параболоїда обертання $z_1^{(3)} = \frac{9}{2}(x^2 + y^2 - x - y + \frac{2}{9})$. Кожна з цих поверхонь утворює з площиною носія двогранний кут 45° (клин). В результаті перемноження цих площин отримується фрагмент гіперболічного параболоїда (гіпара), який показано на рис. 2, а.

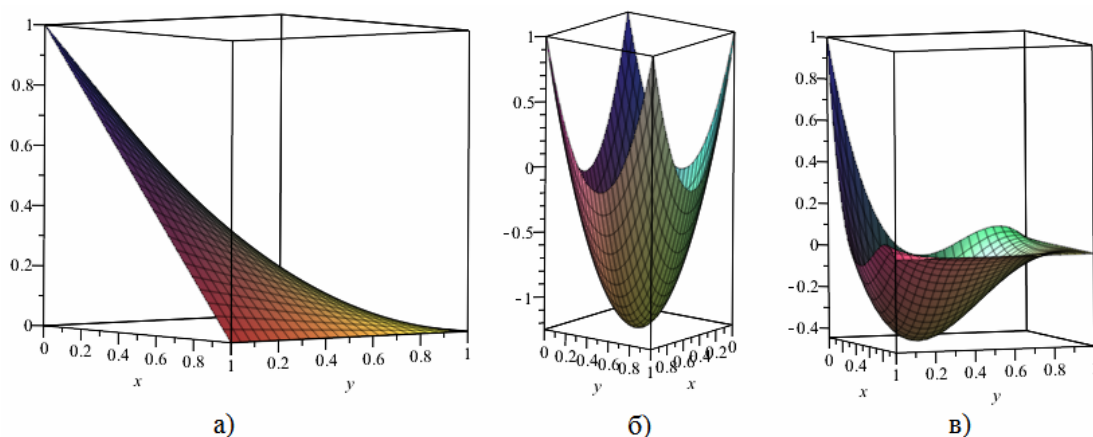


Рис. 2. Формоутворення «кутової» поверхні $N_1(x, y)$ стандартної моделі S

Зауважимо, що гіпар $z = (1 - x)(1 - y)$ є основним елементом формоутворення ізопараметричних поверхонь всіх порядків. Читач без труднощів виявить присутність гіпара в складі формул $N_1(x, y)$ і $N_5(x, y)$. На рис. 2, б показано фрагмент параболоїда обертання, який проходить через всі проміжні вузли носія і точку $(0; 0; 1)$. Зрештою, на рис. 2, в показано результуючу поверхню $N_1(x, y)$, тобто добуток гіпара і параболоїда обертання. Поверхня $N_1(x, y)$ моделі А синтезується з двох фрагментів: гіпара $z = (1 - x)(1 - y)$ і «косого» параболічного циліндра $z = \frac{9}{2}((x - y)^2 - (x + y) + \frac{2}{9})$. Цю поверхню зображено на рис. 3, а.

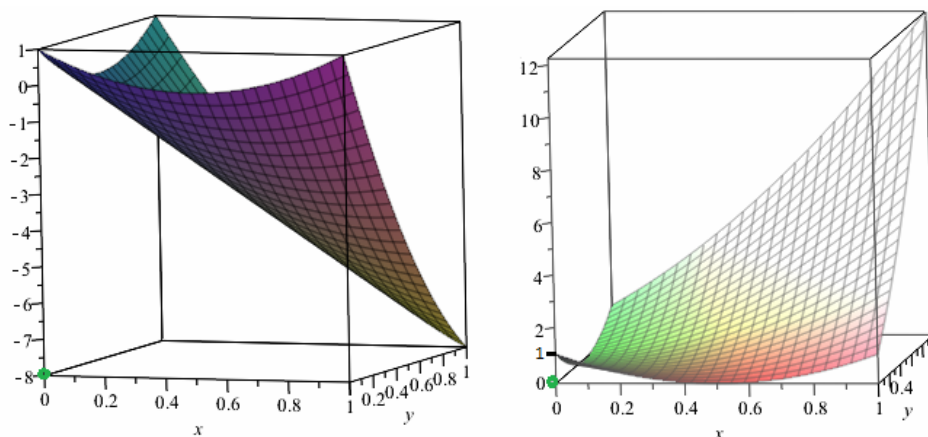


Рис. 3. а) косий параболічний циліндр, б) нерівнобічний гіпар

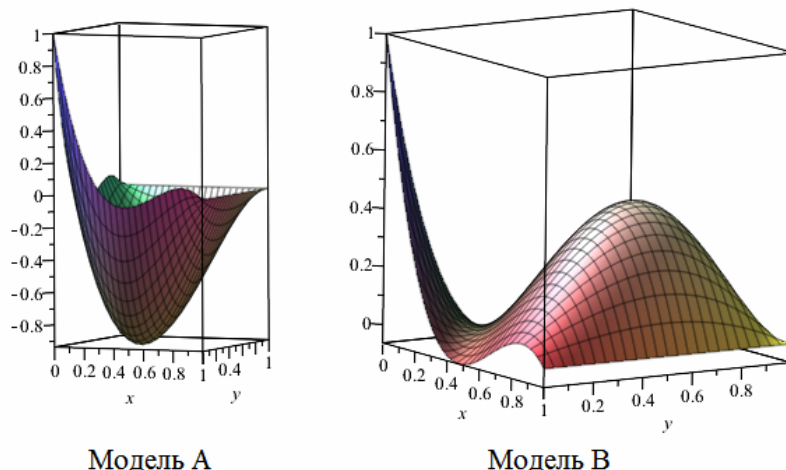


Рис. 4. «Кутові» поверхні $N_1(x, y)$ моделей А і В

Поверхня $N_1(x, y)$ моделі В синтезується з двох фрагментів: гіпара $z = (1 - x)(1 - y)$ і «нерівнобічного» гіпара $z = \frac{1}{4}(2 - 6x - 3y)(2 - 3x - 6y)$. Цю поверхню зображено на рис. 3, б. А результуючі поверхні моделей А і В показано на рис. 4.

Наші дослідження з ізопараметричними базисами, які містять не більше 13-ти мономів, показали, що бікубічна поверхні $N_1(x, y)$ моделей А і В у певному сенсі екстремальні. Найменше значення середньої аплікати дорівнює $-\frac{3}{8}$ (модель А), а найбільше значення дорівнює $\frac{3}{16}$ (модель В).

Наявність нестандартних базисів ізопараметричних апроксимацій відкриває необмежені можливості для створення модельного ряду СЕ з наперед заданими інтегральними характеристиками. 3D зображення поверхонь підказує, як обрати «батьківську» пару і вагові коефіцієнти для конструювання «дочірньої» моделі. Це простий і надійний метод «м'якого» моделювання шляхом зваженого усереднення двох моделей (необов'язково «м'яких»). У перспективі цікаво побудувати бікубічний базис на елементі, в кутових вузлах якого сила «гравітаційного відштовхування» більше, ніж в моделі А.

Список використаних джерел

1. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред / Дж. Оден. — М. : Мир, 1976. — 464 с.
2. Ergatoudis I. Curved isoperimetric «quadrilateral» elements for finite element analysis / I. Ergatoudis, B. M. Irons, O. C. Zienkiewicz // Int. J. Solids Struct. — 1968. — 4. — P. 31—42.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич — М. : Мир, 1975. — 541 с.
4. Норри Д. Введение в метод конечных элементов / Д. Норри, Ж. де Фриз. — М. : Мир, 1981. — 304 с.
5. Akin J. E. Finite Element Analysis with Error Estimators / J. E. Akin. — Butterworth — Heinemann, 2005. — 477 p.
6. Митчелл Э. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными / Э. Митчелл, Р. Уэйт. — М. : Мир, 1981 — 216 с.
7. Хомченко А. Н. Некоторые вероятностные аспекты МКЭ / А. Н. Хомченко. — Ивано-Франковск, 1982. — 6 с. — № 1213.
8. Хомченко А. Н. Метод конечных элементов: стохастический подход / А. Н. Хомченко. — Ивано-Франковск: Ив.-Франк. ин-т нефти и газа, 1982. — 7 с. — № 5167.
9. Арнольд В. И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели / В. И. Арнольд — М. : МЦНМО, 2008. — 32 с.

Анатолій ХОМЧЕНКО, Елена КРЕМЕНЧЕНКО, Елизавета ЗАВАЛКО
г. Николаев

СТЕРЕОМЕТРИЯ ИЗОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ АППРОКСИМАЦИЙ: НЕСТАНДАРТНЫЕ БАЗИСЫ

В статье рассматриваются изопараметрические аппроксимации на конечном носителе в форме единичного квадрата. Описан геометрический способ конструирования нестандартных базисов элемента 3-го порядка (бикубическая интерполяция). Обсуждаются геометрические аспекты парадокса Зенкевича – физической неадекватно-

сти спектра узловых нагрузок от единичной массовой силы. Особый интерес для метода конечных элементов (МКЭ) представляет визуализация пошаговой процедуры конструирования финитных поверхностей высших порядков из фрагментов плоскостей и поверхностей второго порядка. Главное отличие от стандартного (матричного) подхода заключается в том, что интерполяционный полином содержит скрытый (неузловой) параметр, позволяющий генерировать множество нестандартных базисов. В этом ключевая идея «мягкого» моделирования (по В. И. Арнольду).

Ключевые слова: изопараметрические аппроксимации, бикубическая интерполяция, конечный элемент серендитового семейства, «мягкое» моделирование, нестандартные базисные функции, «скрытые» параметры, геометрический подход, физическое несоответствие интегральных средних.

Anatoly KHOMCHENKO, Elena KREMENCHENKO, Elizaveta ZAVALKO
Mykolaiv

STEREOMETRY OF ISOPARAMETRIC APPROXIMATIONS: NONSTANDARD BASES

The article considers isoparametric finite element approximation in the form of the unit square. Geometric method of constructing a nonstandard basis element of the third order (bicubic interpolation) is described. We discuss the geometric aspects of the Zienkiewicz paradox – physical inadequacy spectrum of nodal loads from the unit mass force. Particular interest to the finite element method (FEM) is a turn-based visualization of the procedure of constructing finite surfaces higher orders of fragments of planes and the second order surfaces. The main difference of the standard (matrix) approach is that the interpolation polynomial contains a hidden (nonnodal) option that lets you generate a lot of non-standard bases. This is the key idea of "soft" modeling (by V. I. Arnold).

Key words: isoparametric approximation, bicubic interpolation, the finite element of serendipity family, "soft" modeling, non-standard basis functions, "hidden" parameters, geometric approach, physical mismatch of integral averages.

Стаття надійшла до редколегії 05.10.2016

ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ПРОФІЛЮ ВІДБИВАЧА ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА ДИМУ

Розглянуто спосіб розрахунку відбивачів пожежних сповіщувачів диму, профіль чутливих елементів яких визначається фокальною лінією неточкового приймача променів.

Ключові слова: сповіщувач диму, нанокмпозиційні матеріали, відбивальна система, фокальна лінія.

Для протипожежного захисту майна часто застосовують фотоелектричні сповіщувачі диму [1], з оптичної частини яких виходить промінь і допомагає визначити кількість диму у повітрі (рис. 1).



Рис 1. Схема детекторного сповіщувача диму

Сучасні розробки сповіщувачів диму використовують нанокмпозиційні матеріали, що визначають основу нового типу хімічних сенсорів «електронний ніс» [2]. Принцип дії наносенсорних чутливих датчиків заснований на зміні електропровідності нанокмпозиційної плівки під дією парів речовини (рис. 2).

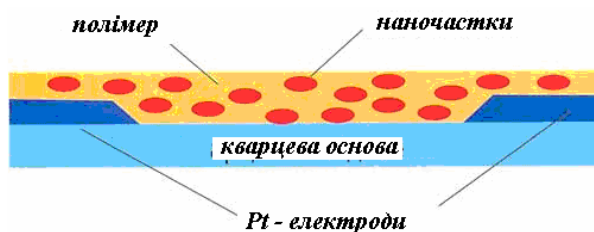


Рис. 2. Схема чутливої частини сповіщувача диму

Для підвищення ефективності дії сповіщувачів диму з нанокмпозиційними матеріалами доцільно доповнити їх конструкції пристроями для концентрування часток диму на чутливій поверхні наносенсорного датчика. На рис. 3 наведено можливу схему наносенсорного сповіщувача диму. Принцип його дії полягає у такому.

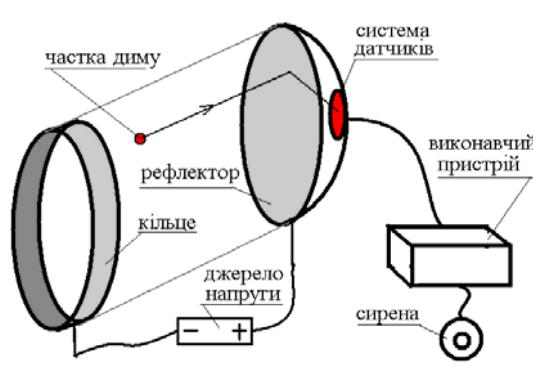


Рис. 3. Запропонована схема наносенсорного сповіщувача диму

Частка диму (розміром 5–10 мкм [3, 4]) розганяється в електричному полі, створеного різницею потенціалів між кільцем і відбивачем (діаметр кільця 50–70 мкм). Після механічного відбиття частка попадає до системи датчиків і реєструється виконавчим пристроєм. Звідси слідує актуальність геометричної проблеми – розрахувати форму відбивача так, щоб спрямований на неї паралельний потік часток диму сконцентрувався на активній поверхні датчика наперед обраної форми. Враховуючи, що відбивачем планується обирати поверхню обертання, то далі розглядається хід променів (тобто траєкторій руху частки) у осевому перетині цієї поверхні.

У роботах [5, 6] наведено метод розрахунку відбивача шляхом складання диференціальних рівнянь, розв'язком яких буде опис відбивача з неточковими фокусами.

Оберемо на площині Oxy дугу фокальної лінії $x_S = X(t)$; $y_S = Y(t)$ (наприклад, фрагмент дуги еліпса), де параметр t змінюється у межах $t_1 \leq t \leq t_2$. Нехай джерелом променів є кожна з точок $\{S\}$ фокальної лінії. У роботі [7] наведено спосіб визначення форми такої кривої (квазіпараболи), для якої відбиті від неї промені «розташуються» паралельно у напрямі осі Ox . При цьому кожній точці фокальної лінії повинна відповідати точка на квазіпараболі. Для цього шукаємо відбивальну криву необхідно описати рівнянням $y = f(x)$. Позначимо через $S(x_S, y_S)$ точку джерела променів, через $Q(x_Q, y_Q)$ – точку уявного джерела променів, що відповідає точці $M(x, y)$ падіння променя, а через $T(x_T, y_T)$ – деяку точку на відбитому промені.

Для складання диференціального рівняння відносно функції $f(x)$, було використано рівняння ортотоміки [8]:

$$x_Q(x) = \frac{(2x - x_S) \left(\frac{df}{dx} \right)^2 - 2(f - y_S) \frac{df}{dx} + x_S}{1 + \left(\frac{df}{dx} \right)^2}; \quad (1)$$

$$y_Q(x) = \frac{y_S \left(\frac{df}{dx} \right)^2 - 2(x - x_S) \frac{df}{dx} - y_S + 2f}{1 + \left(\frac{df}{dx} \right)^2}.$$

Розглянемо відрізок QT прямої, що проходить через точку падіння променя $M(x, f(x))$, їй відповідну точку $Q(x_Q, y_Q)$ на ортотоміці, та точку $T(x_T, y_T)$ на відбитому промені. Маємо рівняння відрізка QT :

$$(x_T - x_Q)(f(x) - y_Q) - (y_T - y_Q)(x - x_Q) = 0, \quad (2)$$

де значення x_Q і y_Q задано виразами (1). Вилучимо з (2) похідну:

$$\frac{df}{dx} = \frac{U + \sqrt{W}}{V}, \quad (3)$$

де

$$U = x^2 - f^2 - xx_T + y_T f + x_T x_S - y_T y_S + y_S f - xx_S;$$

$$V = x_T f + x_S f - y_T x_S + xy_S - 2xf - x_T y_S + xy_T;$$

$$W = ((y_T - f)^2 + (y_T - x)^2)((x - x_S)^2 + (f - y_S)^2).$$

Вираз (3) буде саме тим диференціальним рівнянням, що допоможе знайти функцію $y = f(x)$.

Навести спосіб розрахунку відбивачів пожежних сповіслювачів диму, профіль чутливих елементів яких визначається фокальною лінією неточкового приймача променів.

З диференціального рівняння (3) можна знайти функцію $y = f(x)$, графік якої збігається з профілем відбивача, для якого промінь, що вийшов з точки $S(x_S, y_S)$, після відбиття від знайденого графіка має досягти точки $T(x_T, y_T)$. Так як формула є «симетричною» відносно координат точок S і T , то має

місце і «обернене» твердження: промінь, який вийшов з точки $T(x_T, y_T)$, після відбиття від знайденого графіка досягне точки $S(x_S, y_S)$.

У роботі [3] запропоновано визначення квазіпараболи – як кривої, яка за оптичними властивостями подібна традиційній параболі, але фокус якої буде не точковим, а розосередженим вздовж фокальної лінії. Для складання диференціального рівняння квазіпараболи необхідно у рівнянні (3) врахувати, що при $x_T = 0$ $y_T \rightarrow \infty$. В результаті граничного переходу одержимо рівняння

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{f(x) - y_S + \sqrt{(x - x_S)^2 + (f(x) - y_S)^2}}{x - x_S}. \quad (4)$$

За умови $t_1 \leq t \leq t_2$ кожній точці $A(x, f(x))$ квазіпараболи відповідатимуть точки фокальної лінії

$$x_S = \varphi\left(t_2 - \frac{(t_2 - t_1)(b - x)}{b - a}\right); \quad y_S = \psi\left(t_2 - \frac{(t_2 - t_1)(b - x)}{b - a}\right). \quad (5)$$

Для «прив'язки» точки $S(x_S, y_S)$ до дуги „фокальної” лінії достатньо врахувати її опис $x_S = \varphi(t)$; $y_S = \psi(t)$, де t змінюється у межах $t_1 \leq t \leq t_2$, а також те, що при цьому головним керуючим параметром буде x з інтервалу $[a \leq x \leq b]$. Співставити змінній x у відповідність точки дуги фокальної лінії можна за формулою: $t = t_2 - \frac{(t_2 - t_1)(b - x)}{b - a}$. Тоді, коли змінна x пробігатиме точки інтервалу $[a \dots b]$,

то точка $S(x_S, y_S)$ пробігатиме відповідні точки дуги фокальної кривої. Якщо джерело променів розташоване у точці $T(x_T, y_T)$, то з рівняння (3) можна знайти опис $y = f(x)$ відбивальної кривої, яка б проходила через точку $K(x_K, y_K)$ так, щоб відбиті від неї промені перетнули всі точки кривої (5) за умови $a \leq x \leq b$. Координати точки $K(x_K, y_K)$ визначатимуть початкові умови розв'язання рівняння (4).

В якості прикладу розглянемо на площині Oxy фокальну криву з рівнянням $x = x_0 + c \cos t$; $y = y_0 + d \sin t$, де параметр t змінюється у межах $t_1 \leq t \leq t_2$. Прив'язку до фокальної кривої здійснимо виразами $x_S = x_0 + c \cos(t)$; $y_S = y_0 + d \sin(t)$, де $t = t_2 - \frac{(t_2 - t_1)(b - x)}{b - a}$. В наведених прикладах вважається, що падаючі промені будуть паралельними, і направленими «назустріч» осі Ox (на рисунках не показано). У формулах збережено синтаксис мови Maple.

Приклад 1. Нехай профіль чутливого елемента має вигляд відрізка. На рис. 4 наведено варіант розрахунків для параметрів:

$$a=-66; b=45; x_k=40; y_k=100; t_1=-\pi; t_2=0; c=0,1; d=-60; x_0 = -40; y_0 = 0.$$

Зображено відбивальну криву на полі ізоклін (а), а також сім'ю променів, що нею відбиті на чутливий датчик (б).

Графіки одержано в результаті розв'язання диференціального рівняння

$$\left| \begin{aligned} \frac{d}{dx} f(x) = & (-40 + 0.1 \cos(-1.273 + 0.02829 x) - x + (x^2 \\ & - 2 x (-40 + 0.1 \cos(-1.273 + 0.02829 x)) \\ & + 120. \sin(-1.273 + 0.02829 x) f(x) + 3600. \sin(-1.273 + 0.02829 x)^2 \\ & + f(x)^2 + (-40 + 0.1 \cos(-1.273 + 0.02829 x))^2)^{(1/2)} / (\\ & 60. \sin(-1.273 + 0.02829 x) + f(x)) \end{aligned} \right|$$

з початковою умовою $f(40) = 100$.

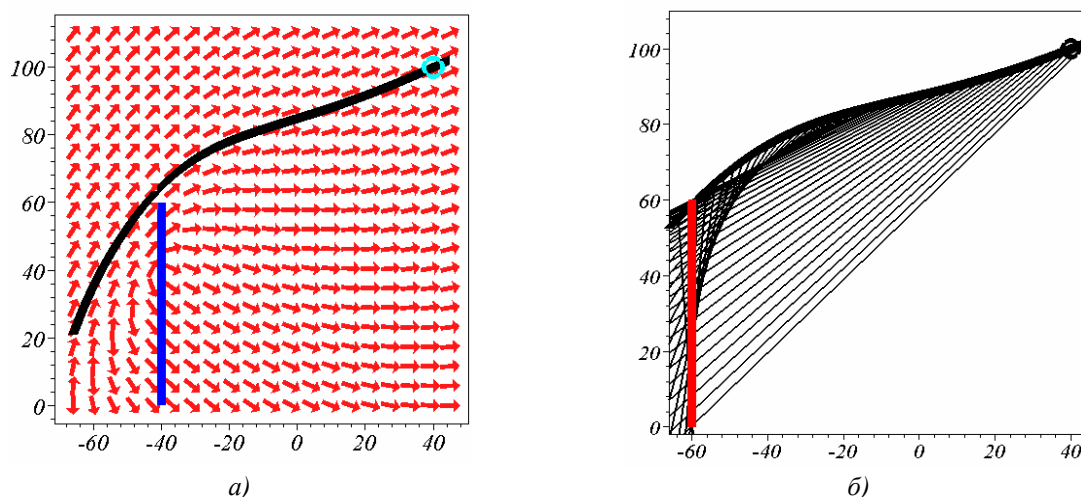


Рис. 4. Поле ізоклін і відбивальна крива (а), та сім'я відбитих від неї променів (б)

Приклад 2. Нехай профіль чутливого елементу має вигляд півкола. На рис. 5 наведено варіант розрахунків для параметрів:

a=-66; b=44; x_k=40; y_k=100; t₁=-π; t₂=0; c=40; d=-40; x₀ = -40; y₀ = 0.

Зображено відбивальну криву на полі ізоклін (а), а також промені (б), що нею відбиті на півколо (чутливий датчик).

Графіки одержано в результаті розв'язання диференціального рівняння

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} f(x) = & (-40 + 60 \cdot \cos(-1.273 + 0.02829 x) - x + (x^2 \\ & - 2 x (-40 + 60 \cdot \cos(-1.273 + 0.02829 x)) \\ & + 120 \cdot \sin(-1.273 + 0.02829 x) f(x) + 3600 \cdot \sin(-1.273 + 0.02829 x)^2 \\ & + f(x)^2 + (-40 + 60 \cdot \cos(-1.273 + 0.02829 x))^2)^{(1/2)} / (\\ & 60 \cdot \sin(-1.273 + 0.02829 x) + f(x)) \end{aligned}$$

з початковою умовою $f(40) = 100$.

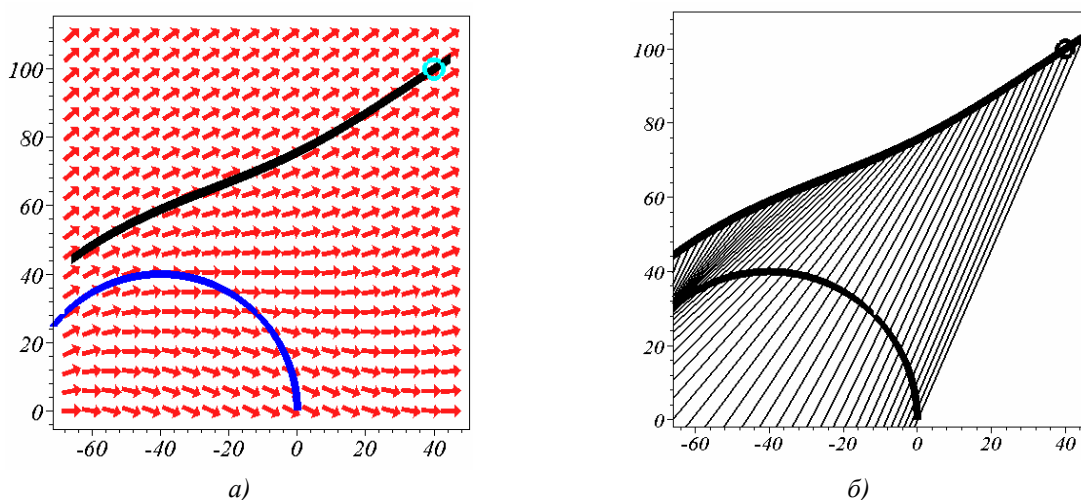


Рис. 5. Поле ізоклін і відбивальна крива (а), та сім'я відбитих від неї променів (б)

Приклад 3. Нехай профіль активного елементу має вигляд «пів-каплі». На рис. 6 наведено варіант розрахунків для параметрів:

$$a=-40; b=45; x_k=40; y_k=100; t_1=-\pi; t_2=0; c=-40; d=40; x_0 = 20; y_0 = 0.$$

Зображено відбивальну криву на полі ізоклін (а), а також сім'ю променів (б), що відбиті на чутливий датчик.

Графіки одержано в результаті розв'язання диференціального рівняння

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} f(x) = & (40. \sin(-1.662 + 0.03694 x) - x + (x^2 \\ & - 80. x \sin(-1.662 + 0.03694 x) \\ & - 2 (20 - 40. \cos(-1.662 + 0.03694 x) \sin(-1.662 + 0.03694 x)) f(x) \\ & + (20 - 40. \cos(-1.662 + 0.03694 x) \sin(-1.662 + 0.03694 x))^2 + f(x)^2 \\ & + 1600. \sin(-1.662 + 0.03694 x)^2)^{(1/2)}) / (\\ & -20 + 40. \cos(-1.662 + 0.03694 x) \sin(-1.662 + 0.03694 x) + f(x)) \end{aligned}$$

з початковою умовою $f(40) = 100$.

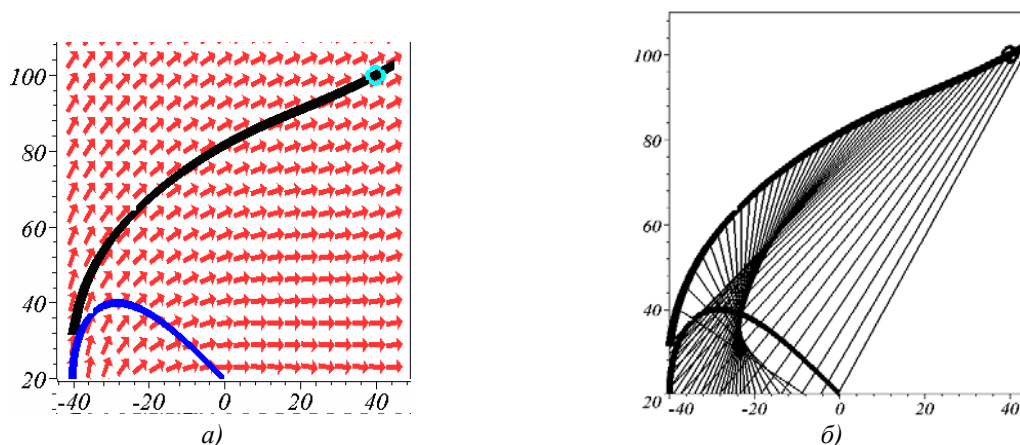


Рис. 6. Поле ізоклін і відбивальна крива (а), та сім'я відбитих від неї променів (б)

Для побудови поля ізоклін диференціального рівняння, позначеного ідентифікатором **eq**, використано Maple –оператор:

DEplot(eq, f(x), x=a..b, f=0..y_k, arrows=LARGE):

Для побудови відбивальної кривої використано Maple –оператори:

F1 := dsolve({eq, ic1}, {f(x)},

type=numeric, output=listprocedure);

for i from a to b do

zz[i] := rhs(F1(i)[2]);

end do;

plots[odeplot](F1, [x, f(x)], a..b, thickness=10).

Для опису точок ортотоміки кривої використано Maple –оператори:

dy := unapply (D(y)(t),t):

x := (t) -> t:

dx := diff(x(t),t):

dy := diff(y(t),t):

xort := 2*(dy*(x*dy-dx*y) +

dx*(xs*dx+ys*dy))/(dx^2+dy^2)-xs:

```

yort := 2*(-dx*(x*dy-dx*y) +
dy*(xs*dx+ys*dy))/(dx^2+dy^2)-ys:

```

Для побудови множини відбитих променів (45 штук) використано Maple –оператори:

```

for i from 1 to 45 do t := a + (b-a)*i/45.001:

```

```

xlin := w -> x(t) + w *(x(t) - xort(t)):

```

```

ylin := w -> y(t) + w *(y(t) - yort(t)):

```

```

luch := plot([xlin(w), ylin(w),w=0..0.5]):

```

```

Gr[i] := display(luch);

```

```

end do:

```

```

display(rub, K, spl, seq(Gr[i], i=1..45),

```

```

axes=BOXED, view=[a..b, 20..110]);

```

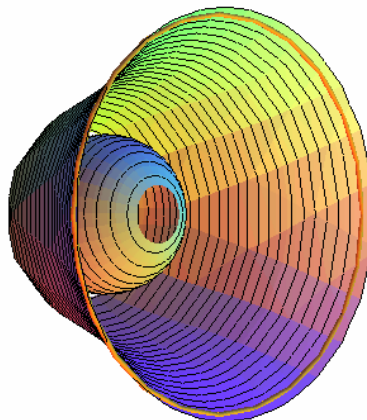


Рис. 7. Аксонометричне зображення відбивальної поверхні та чутливого сферичного елемента

Також було складено програму побудови просторових зображень відбивальних поверхонь. На рис. 7 у якості прикладу наведено одержане аксонометричне зображення відбивальної поверхні та чутливого сферичного елемента з прикладу № 2.

Диференціальне рівняння (4) дозволяє визначити криву, здатну «переломити» направлені на неї паралельні промені так, що відбиті промені досягнули фокальної лінії обраної форми. Рівняння (4) можна використати при розрахунку відбивачів пожежних сповіщувачів диму, чутливий профіль з на-нокомпозиційного матеріалу якого визначається фокальною лінією неточкового приймача променів, а також при проектуванні освітлювальних приладів з врахуванням геометричної форми балонів ламп.

Список використаних джерел

1. Детектори диму [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.asutpp.ru/datchiki/datchik-pozharnoj-signalizacii.html>.
2. Яблоков М. Комбинированный пожарный извещатель для сверххранного обнаружения очагов возгорания [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://house-control.org.ua/article/3500/m--yablokov-kombinirovannyy-pojaruyu-izveshatel-dlya-sverhhrannego-obnagujeniya-ochagov-vozgoraniya-/>.
3. Зайцев А. Размеры частиц дыма и корректность проведения огневых испытаний пожарных извещателей [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://avtoritet.net/library/press/245/9061/articles/10458>.
4. Зайцев А. В. Чувствительность пожарных извещателей к различным типам дыма / А. В. Зайцев // Алгоритм безопасности. — 2012. — № 3, 4, 5.
5. Сітабдієва О. Л. Геометричне моделювання квазіеліпсоїдів з неточковими фокусами / О. Л. Сітабдієва // Геометричне та комп'ютерне моделювання. — Харків : ХДУХТ, 2005. — Вип. 9. — С. 122—127.
6. Куценко Л. М. Квазіпарабола з неточковими фокусом як основа відбивача освітлювального приладу / Л. М. Куценко, А. Ф. Сухобоков // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — Вип. 75. — К. : КНУБА, 2005. — С. 58—64.
7. Підгорний О. Л. Опис подери, ортотоміки і катакаустики як елементів відбивальної системи // О. Л. Підгорний, Л. М. Куценко // Труды / Таврическая гос. агротехн. академия. — Вип. 4, Т. 10. — Мелитополь : ТГАТА, 1999. — С. 14—18.
8. Ушаков Л. В. Проектування відбивача освітлювального приладу на основі квазіпараболи з неточковим фокусом / Л. В. Ушаков // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К. : КНУБА, 2006. — Вип. 76. — С. 137—142.

Sergey SHEVCHENKO
Kharkiv

DEFINITION OF REFLECTOR PROFILE SHAPE FOR THE FIRE PROTECTION SMOKE DETECTOR

We considered a way of calculation for reflector of fire protection smoke detector, which profile of detector heads is defined by the focal line of the nonpoint beam detector.

Key words: smoke detector, nanocomposite materials, reflection system, focal line.

Сергей ШЕВЧЕНКО
г. Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ПРОФИЛЯ ОТРАЖАТЕЛЯ ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ ДЫМА

Рассмотрен способ расчета отражателей пожарных извещателей дыма, профиль чувствительных элементов которых определяется фокальной линией неточечного приемника лучей.

Ключевые слова: извещатель дыма, нанокмпозиционные материалы, отражательная система, фокальная линия.

Стаття надійшла до редколегії 11.10.2016

ЗАГАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ СПЕЦІАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Досліджено розвиток аналітичних підходів до розв'язування задач побудови геометричних моделей та спеціальних графічних зображень. Розглянуто проблему, яка пов'язується з логікою проєкційних графічних операцій під час моделювання в інженерній практиці. З'ясовано, що більшість спеціальних графічно-проєкційних зображень – це сумарний результат паралельного або центрального проєціювання (тобто загальних елементів) та відповідних додаткових операцій.

Ключові слова: геометричне моделювання, проєкційні геометричні моделі, перетворення простору, перетворення координат, спеціальні графічні зображення.

Спрямованість розвитку методів геометричного моделювання в бік забезпечення графічних інформаційних технологій пов'язана з більш досконалими підходами до формування графічної інформації, що несе з собою широке використання спеціальних зображень. Кожен з типів спеціальних геометричних зображень (перспектива, проєкції з числовими позначками, векторні проєкції академіка Є. С. Федорова і т. ін.) з успіхом використовується в архітектурі, будівництві, гірничій справі та інших галузях інженерної діяльності. Незважаючи на певні розбіжності, побудова спеціальних зображень має спиратися на загальне математичне ядро, що полягає у використанні перетворень простору і перетворень координат. Тому проблемна задача полягає у визначенні ядра формування зображень і показі відмінностей кінцевих етапів побудови кожного типу спеціальних графічних зображень.

В статті приділено увагу саме спеціальним проєкційним зображенням. В геометричному моделюванні об'єктів базову позицію і дотепер займають методи формування проєкційних моделей та їх зображень. Тому важливо забезпечити ними процес проектування інженерних об'єктів (особливо на початкових етапах).

У попередні десятиліття достатньо широко вивчені інженерні можливості формування спеціальних зображень. Були розроблені методики і способи їх побудови [1, 4, 10]. Огляд літератури виявляє наступне: по-перше, відомості у різних роботах про спеціальні зображення часто подані в ознайомчому форматі; по-друге, не узагальнено теоретичне підґрунтя формування спеціальних зображень як технології геометричного моделювання; по-третє, матеріал (навчальний і науковий) щодо опису методів та способів побудови спеціальних зображень складає окремі розділи і міститься в літературі, що забезпечує окремі предметні та практичні інженерні задачі. Розвиток аналітичних підходів до розв'язування задач побудови геометричних моделей та спеціальних графічних зображень дещо відкинув з розгляду їх проєкційну природу. Тому в статті розглядається проблема, яку пов'язано з логікою проєкційних графічних операцій під час моделювання в інженерній практиці, а також визначається фактор сутності спеціальних геометричних моделей. Матеріал статті носить загальнотеоретичний характер і базується на аналізі наукових засад геометричного моделювання.

Відомо [7], що з позицій геометричного моделювання відображенням множини $\{X\}$ у множину $\{X'\}$ є відповідність кожного елемента X множини $\{X\}$ певному елементу X' множини $\{X'\}$. В проєкційних моделях відбувається взаємно однозначне обернене відображення. Кожній точці простору відповідають її проєкції. Відображення здійснюється завдяки операції проєціювання, а оберненість забезпечують проєкційні промені. Щодо взаємної однозначності, то в кожному випадку має бути бінарне проєкційне зображення або монопроєкція, до якої надано додаткові дані.

Практична реалізація перетворень проєкційних моделей можлива за умови взаємно однозначного та оберненого зв'язку між етапами перетворень, що традиційно реалізують класичні методи допоміжного проєціювання, проєктивних перетворень (перспективно-афінних, гомотетичних, гомологічних та їх комбінацій), топологічних і квадратичних перетворень [9].

Надамо загальнотеоретичне підґрунтя для роботи з проєкційними геометричними моделями.

Тлумачення об'єкта (точки) простору в геометричному моделюванні можна робити двома шля-

хами [5]. Так званий «пасивний» шлях полягає у визначенні координат точки, заданої в одній системі координат, відносно іншої системи координат. При цьому сам об'єкт (точка) відображується на себе («залишається собою»), тобто здійснюється перетворення координат: $M(x, y, z) \equiv M'(x', y', z')$. Перетворення простору (відображення точки в просторі, що "залишається собою", на іншу точку) відноситься до «активного» шляху визначення об'єктів (точок) простору. При цьому нова точка $M'(x', y', z')$ визначається фактично в тій же системі координат. Використовуючи підходи геометричного моделювання (перетворення простору і перетворення координат), можна описувати відповідність проєкцій (образів) своїм об'єктам (прообразам).

Більшість спеціальних графічно-проєкційних зображень – це [3] сумарний результат паралельного або центрального проєціювання (ядра, тобто загальних елементів) та відповідних додаткових операцій. На рис. 1 наведено схему паралельного проєціювання. Проєкційний промінь $\frac{x-x'}{l} = \frac{y-y'}{m} = \frac{z-z'}{n}$ (де l, m, n – коефіцієнти, що визначають напрям проєціювання) забезпечує відображення деякої точки M простору в точку M' площини-картини $Ax' + By' + Cz' + D = 0$ (де A, B, C, D – коефіцієнти). Таке відображення є перетворенням простору, і координати $M'(x', y', z')$ є лінійними функціями координат $M(x, y, z)$ вигляду [2, 5, 12]

$$\begin{cases} x' = a_1x + b_1y + c_1z + d_1, \\ y' = a_2x + b_2y + c_2z + d_2, \\ z' = a_3x + b_3y + c_3z + d_3, \end{cases}$$

де коефіцієнти $a_1, b_1, c_1, d_1, a_2, b_2, c_2, d_2, a_3, b_3, c_3, d_3$ вміщують в собі коефіцієнти l, m, n, A, B, C, D .

В системах координат площини проєкцій $Ax' + By' + Cz' + D = 0$ проєкції $M'(x', y', z') \equiv M''(x'', y'', 0)$, тобто відображуються у самих себе, і це є перетворенням координат. В свою чергу, координати $M''(x'', y'')$ є лінійними функціями координат $M'(x', y', z')$ вигляду [3, 12]

$$\begin{cases} x'' = g_1(x' - x_0) + g_2(y' - y_0) + g_3(z' - z_0), \\ y'' = g_4(x' - x_0) + g_5(y' - y_0) + g_6(z' - z_0), \\ z'' = 0, \end{cases}$$

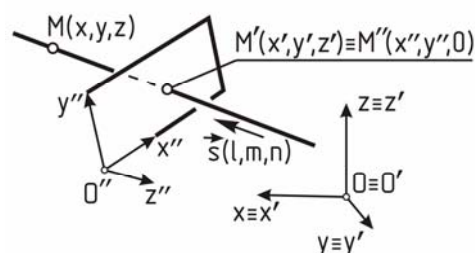


Рис. 1. Схема паралельного проєціювання

де x_0, y_0, z_0 – координати проєкції O'' відносно системи $O'x'y'z'$; g_1, g_2, g_3 – напрямні косинуси осі $O'x''$ відносно системи $O'x'y'z'$; g_4, g_5, g_6 – напрямні косинуси осі $O'y''$ відносно системи $O'x'y'z'$.

Таким чином, паралельне проєціювання визначається добутком перетворень вигляду $f(M) = f''(f'(M)) = M''$.

Схема центрального проєціювання (рис. 2) демонструє елементи перетворення простору і перетворення координат. Проєкційний промінь $\frac{x-x'}{p-x'} = \frac{y-y'}{q-y'} = \frac{z-z'}{r-z'}$ пов'язує точку M , центр проєціювання $S(p, q, r)$ і проєкцію M' . Залежності між координатами образу і прообразу є дробово-лінійними і мають вигляд [2, 5, 12]

$$\begin{cases} x' = \frac{a_1x + b_1y + c_1z + d_1}{a_4x + b_4y + c_4z + d_4}, \\ y' = \frac{a_2x + b_2y + c_2z + d_2}{a_4x + b_4y + c_4z + d_4}, \\ z' = \frac{a_3x + b_3y + c_3z + d_3}{a_4x + b_4y + c_4z + d_4}. \end{cases}$$

Перетворення координат є таким же, як і у випадку паралельного проєціювання: $M'(x', y', z') \equiv M''(x'', y'', 0)$. Підсумковий добуток $f(M) = f''(f'(M)) = M''$ характеризує послідовне виконання двох етапів центрального проєціювання.

Наведені перетворення забезпечують відображення об'єкта, що існує в просторі, на площину-носії зображення. Такі зображення є монопроєкційними (моноструктурними). Монопроєкція – це результат тільки однієї дії з алгоритму створення проєкційної моделі об'єкта. А для одержання закінченого алгоритму проєкційної моделі, тобто для виконання умови однозначного оберненого зв'язку між об'єктом і проєкціями, потрібні не моно-, а біструктури [8]. Відомі типи наочних і спеціальних геометричних зображень завжди підпорядковані перетворенням простору та перетворенням координат (тобто ядру проєціювань) і є бімоделями об'єктів. До спеціальних відображень об'єкта, які містять етапи центрального і паралельного проєціювань, можна також віднести радіально-паралельне проєціювання (RP-проєціювання) [6].

Розглянемо сутність спеціальних проєкційних зображень з позицій технології геометричного моделювання.

Геометричною проєкційною моделлю об'єкта в результаті центрального проєціювання є перспектива [10], тому її утворення супроводжується перетворенням простору і перетворенням координат як при центральному проєціюванні. Бімодель об'єкта на картинній площині (рис. 3) складається з центральної проєкції a' самого об'єкта та центральної проєкції a'_1 його ортогональної (горизонтальної) проєкції. Ця модель є оберненою і має взаємно однозначний зв'язок з об'єктом.

Створення проєкційної моделі з числовими позначками потребує перетворення простору та перетворення координат для одержання паралельної (ортогональної) монопроєкції об'єкта на площині. Але таке зображення об'єкта не забезпечує оберненості моделі та однозначного його відтворення у просторі. Лише за умови накладання на проєкцію додаткових даних можна стверджувати про сформовану бімодель об'єкта (рис. 4). Як відомо [4], цими даними є відстані до точок об'єкта від площини проєкцій.

Векторні проєкції акад. Є. С. Федорова [1] базуються на монопроєкціях об'єкта на площину і є похідними від проєкцій з числовими позначками. Оберненість і взаємна однозначність між проєкціями та об'єктом обумовлені сукупністю даних, одержаних в результаті виконання перетворення простору і перетворення координат з доданням числових позначок. Наступні геометричні операції виконуються таким чином: з дотриманням заданого напрямку вектора і з використанням значень різниці відстаней точок об'єкта від площини проєкцій формуються векторні проєкції Є. С. Федорова. Вони забезпечують бімодель об'єкта (приклад – проєкції D' та D'' точки D і т. ін. на рис. 5).

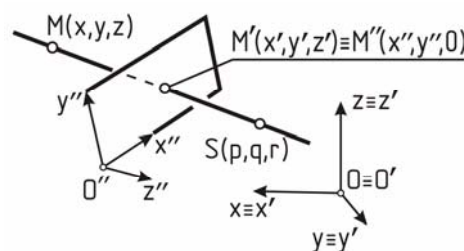


Рис. 2. Схема центрального проєціювання

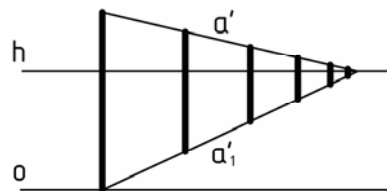
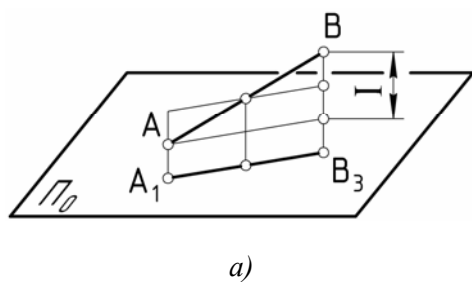
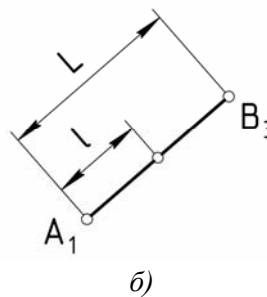


Рис. 3. Схема центрально-проєкційної моделі (перспективи)



а)



б)

Рис. 4. Схема проєкційної моделі з числовими позначками:

a – наочне зображення; b – кресленник

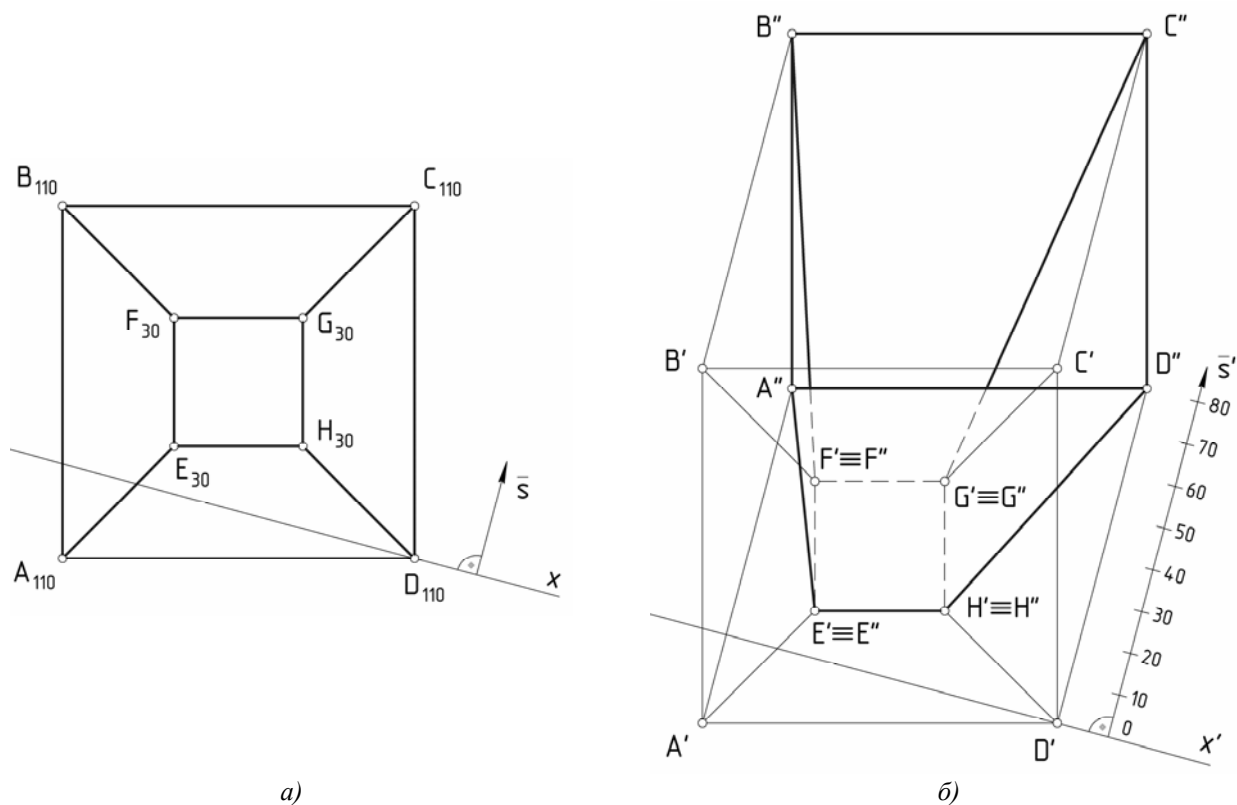


Рис. 5. Схема формування векторних проекцій акад. Є. С. Федорова:
а – кресленик в проекціях з числовими позначками; б – векторна проекція

Спеціальне графічне зображення RP-проекція $f(x, y) > 0$ [6, 11] (рис. 6) залежить від центральної проекції об'єкта на поверхні-носії (сфері), яка пов'язана з самим об'єктом $F(x, y, z) > 0$. Щодо оберненості перетворення та взаємно однозначного проекційного зв'язку RP-проекції та об'єкта, то останній без додаткових даних не може бути однозначно визначеним у ході оберненого перетворення за наявності лише його RP-проекції (монопоекції), оскільки тілесний кут, в який вписано об'єкт, окреслює цілу сім'ю гомотетичних об'єктів (рис. 7). Додаткові дані для однозначного просторового визначення об'єкта можуть бути одержані за допомогою аналітичних описів.

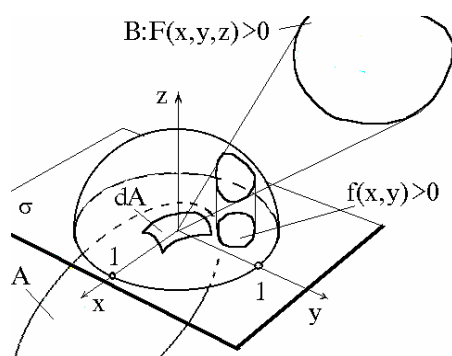


Рис. 6. Схема радіально-паралельного проєціювання

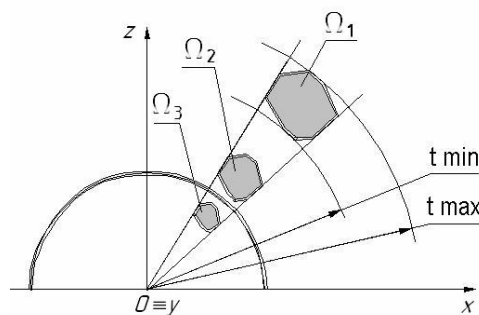


Рис. 7. Гомотетичні об'єкти Ω_1 і Ω_2 та їх спільна центральна проекція Ω_3 на сфері

Спираючись на аналіз наукового матеріалу в галузі прикладної геометрії, можна вважати формування спеціальних проекційних зображень певною технологією геометричного моделювання.

Список використаних джерел

1. Горно-инженерная графика / [Г. Г. Ломоносов, А. И. Арсентьев, И. А. Гудкова и др.]. — М. : Недра, 1976. — 264 с.
2. Даниленко В. Я. Проекційні елементи синергетичного перетворення простору / В. Я. Даниленко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К. : КНУБА, 2000. — Вип. 67. — С. 188–190.
3. Даниленко В. Я. Синергетичні та системні можливості параметризації об'єктів і перетворень простору /

- В. Я. Даниленко // Системні технології. — Дніпропетровськ : ДНВП МОНУ «Системні технології», 2006. — Вип. 2(43). — С. 73–78.
4. Кизима Р. А. Нарисна геометрія. Ортогональні проекції і проекції з числовими позначками: навч. посіб. / Р. А. Кизима. — К. : ІЗМН, 1997. — 180 с.
 5. Клейн Ф. Элементарная математика с точки зрения высшей : в 2 т. / Ф. Клейн ; [пер. с нем.]. — М. : Наука, 1987. — Т. 2. : Геометрия. — 416 с.
 6. Куценко Л. Н. Приближенный метод вычисления локальных угловых коэффициентов излучения / Л. Н. Куценко, О. В. Шоман // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К. : КДТУБА, 1996. — Вип. 60. — С. 46–49.
 7. Моденов П. С. Геометрические преобразования / П. С. Моденов, А. С. Пархоменко. — М. : МГУ, 1961. — 232 с.
 8. Рыжов Н. Н. Метрика бинарных моделей пространства и алгоритмизация решения метрических задач / Н. Н. Рыжов // Сб. науч.-методич. статей «Начертательная геометрия и инженерная графика». — М. : МПИ, 1989. — Вып. 15. — С. 82–85.
 9. Фролов С. А. Методы преобразования ортогональных проекций / С. А. Фролов. — М. : Машиностроение, 1963. — 144 с.
 10. Шмидт Р. Учение о перспективе / Р. Шмидт ; [пер. с нем.]. — М. : Стройиздат, 1983. — 120 с.
 11. Шоман О. В. Конструктивні підходи до опису RP-проекцій геометричних об'єктів / О. В. Шоман // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — 2012. — Вип. 89. — С. 392–396.
 12. Шоман О.В. Основи інженерної графіки та геометричного моделювання в середовищі AutoCAD / О. В. Шоман. — Х. : НТУ «ХПІ», 2014. — 288 с.

Olga SHOMAN, Volodymyr DANYLENKO
Kharkiv

GENERAL ELEMENTS OF THE SPECIAL IMAGES

Development of the analytical going is investigational near the decision of problems of construction of geometrical models and special graphic images. The problem related to logic of projection graphic operations at a modeling in engineering practice is considered. It is found out that the most special graphic projection images are a total result of parallel or central projection acts (i.e. general elements) and the proper additional operations.

Keywords: geometrical modeling, projection geometrical models, transformation of space, transformation of coordinates, special graphic images.

Ольга ШОМАН, Владимир ДАНИЛЕНКО
г. Харьков

ОБЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Исследовано развитие аналитических подходов к решению задач построения геометрических моделей и специальных графических изображений. Рассмотрена проблема, связанная с логикой проекционных графических операций при моделировании в инженерной практике. Выяснено, что большинство специальных графически-проекционных изображений – это суммарный результат параллельного или центрального проецирования (т.е. общих элементов) и соответствующих дополнительных операций.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, проекционные геометрические модели, преобразование пространства, преобразование координат, специальные графические изображения.

Стаття надійшла до редколегії 15.09.2016

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

АЛТУХОВА Тетяна Володимирівна, аспірант кафедри електромеханіки і автоматики Красноармійського індустріального інституту Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет».

БЕРЕЗЬКИЙ Олег Миколайович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії Тернопільського національного економічного університету.

БІДНІЧЕНКО Олена Галиківна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та інженерної графіки Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

БОЙЧУК Олена Володимирівна, кандидат фізико-математичних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського.

БОНДАРЕНКО Валерій Прокопович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних засобів телекомунікацій Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

БОРДУН Сергій Олександрович, магістрант кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

БОРИСЕНКО Валерій Дмитрович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського.

БОРИСЕНКО Ірина Анатоліївна, заступник директора з навчально-виховної роботи, учитель фізики, учитель-методист Миколаївського муніципального колегіуму імені В. Д. Чайки.

БОРИСЕНКО Максим Юрійович, кандидат фізико-математичних наук, викладач кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського.

ВАСИЛИНЕНКО Євгенія Вячеславівна, студентка 4-го курсу факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

ВАСИЛЬКІВ Надія Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних обчислювальних систем і управління Тернопільського національного економічного університету.

ВОЛИК Дмитро Андрійович, інженер-дослідник науково-дослідної частини Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

ДАНИЛЕНКО Володимир Якович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Харківського національного автомобільно-дорожного університету.

ДУБЧАК Леся Орестівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Тернопільського національного економічного університету.

ЗАВАЛКО Єлизавета Андріївна, студентка 3-го курсу Чорноморського національного університету імені Петра Могили.

КОВАЛЕНКО Ігор Іванович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

КОТЛЯР Дмитро Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та інженерної графіки Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

КРЕМЕНЧЕНКО Олена Сергіївна, студентка 3-го курсу Чорноморського національного університету імені Петра Могили.

КУЗЬМА Катерина Теодозіївна, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського.

КУЦЕНКО Леонід Миколайович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки Національного університету цивільного захисту України.

ЛЕГЕТА Ярослав Павлович, старший викладач кафедри технології машинобудування Державного вищого навчального закладу «Ужгородський національний університет».

ЛІТНИЦЬКИЙ Сергій Іванович, асистент кафедри основ архітектурного проектування, конструювання і графіки Національного університету водного господарства і природокористування.

ЛУКЬЯНЧИКОВ Сергій Дмитрович, старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського.

МАНДРА Андрій Валерійович, викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

МАХРОВСЬКА Наталя Анатоліївна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського.

МЕЛЬНИК Віктор Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського.

МЕЛЬНИК Олександр Вікторович, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського.

ПАХОМОВА Вікторія Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

ПОГРОМСЬКА Ганна Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського.

РОГОВЦОВ Юрій Олександрович, член Малої академії наук України, учень 11 класу Миколаївського муніципального колегіуму імені В. Д. Чайки.

СЕМКІВ Олег Михайлович, кандидат технічних наук, проректор по службі, полковник служби цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України.

СУХАРЬКОВА Олена Іванівна, асистент кафедри нарисної геометрії і комп'ютерної графіки Українського державного університету залізничного транспорту.

УСТЕНКО Ірина Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

УСТЕНКО Сергій Анатолійович, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського.

ХОЛКОВСЬКИЙ Юрій Романович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій дизайну і графіки Київського національного авіаційного університету.

ХОМЧЕНКО Анатолій Никифорович, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної та вищої математики Чорноморського національного університету імені П. Могили.

ШЕВЧЕНКО Сергій Миколайович, начальник курсу факультету пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту України.

ШОМАН Ольга Вікторівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геометричного моделювання та комп'ютерної графіки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

В научном журнале освещены актуальные вопросы геометрического моделирования, компьютерных систем, информационных технологий и т.д. Авторами четко актуализируются понятия «компьютерное моделирование», «геометрическое моделирование», «программирование», «информационная технология», «нейронная сеть» и другие. К авторским концепциям привлечены: пакеты моделирования FemLab, FEMAP с решителем NASTRAN, стандарт STEP, технология ATM, модель BOCR.

Издание адресовано ученым, преподавателям, студентам технических специальностей.

Topical issues of geometric modeling, computer systems, and information technologies are highlighted in the scientific journal. The authors clearly actualize the concepts of «computer modeling», «geometric modeling», «programming», «information technologies», «neural network» and others. The authors' concepts involve: modeling packages FemLab and FEMAP with NASTRAN solvers, standard STEP, ATM technology, model BOCR.

The publication is addressed to scientists, teachers, students of technical specialties.

Наукове видання

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

GEOMETRISCHE MODELIERUNG AND INFORMATIONEN TECHNOLOGIEN

GEOMETRIC MODELING AND INFORMATION TECHNOLOGIES

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 2, жовтень 2016

Формат 60×84 1/8. Ум. друк. арк. 14,9.
Тираж 100 пр.

Свідोцтво про реєстрацію друкованого засобу масової інформації
серія KB № 22102-12002 P від 16.05.2016 р.

Адреса редакції та видавця:
Видавництво МНУ імені В. О. Сухомлинського
54030, м. Миколаїв, вул. Нікольська, 24
тел. (0512) 37-88-38, т/ф 37-88-15
e-mail: publish.mnu@i.ua
gmit.sj@gmail.com

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи ДК № 3375 від 27.01.2009 р.