

18. Lukianov, P. V. (2013-2014). On one model for aeroacoustics of viscous compressible gas. Part I. Analysis of existing models, deducing of resolving system of equations. Akustychnyi visnyk, Vol. 16, no. 2, pp. 18-30. Retrieved from: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/116200>.
19. Lukianov, P. V. (2013-2014). On one model for aeroacoustics of viscous compressible gas. Part II. Noise of the near helicopter blade-vortex interaction. Akustychnyi visnyk, Vol. 16, no. 3, pp. 31-40. Retrieved from: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/116219>.
20. Lukianov, P. V. (2015). Modeling the BVI-noise of the two-blade helicopter rotor. Akustychnyi visnyk, Vol. 17, no. 1, pp. 48-60. Retrieved from: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/116236>.
21. Lukianov, P. V. (2015). The effect of blade tip truncation type on the BVI-noise level. Akustychnyi visnyk, Vol. 17, no. 2, pp. 23-37. Retrieved from: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/116240>.
22. Lukianov, P. V. (2017). Decline of BVI-noise of rotor of helicopter by means of blade with a double bend. Сниження BVI-шуму ротора вертольота с помощью лопасти с двойным изгибом, Visnyk Cherkaskoho universytetu. Serii: Prykladna matematyka. Informatyka, No. 1-2, pp. 50-64.
23. Lukianov, P. V. (2012). On one numerical-analytical approach to solving of a problem on sound generation by a thin wing. Part II. A schematic of application to non-stationary problems. Akustychnyi visnyk, Vol. 15, no. 3, pp. 45-52. Retrieved from: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/116180>.

УДК 681.3:771.537.442

DOI: 10.26661/2413-6549-2018-2-09

ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ОСНОВНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ СИСТЕМИ «РАНОК»

Мильцев О. М., Кондрат'єва Н. О., Леонт'єва В. В.

*Запорізький національний університет,
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна*

alexmyltsev@gmail.com

У статті розглядається функціональна модель основних бізнес-процесів системи рекурсивного аналізу на образних компонентах – РАНОК. Система представлена сімома підсистемами, яким відповідають сім основних бізнес-процесів.

Опис функції трьох змінних на мові FORTU виконується підсистемою аналітичного опису моделі. Далі задана на мові FORTU функція використовується у попередній візуалізації досліджуваного об'єкта, що виконується підсистемою попередньої візуалізації і формує зображення досліджуваного об'єкта, та у формуванні тривимірного воксельного масиву даних і формує тривимірний воксельний масив компонентів нормалей. На базі цього масиву компонентів нормалей формуються набори тривимірних воксельних графічних образів-моделей підсистемою побудови графічних образів-моделей функції, які використовуються у підсистемі візуалізації графічних образів-моделей функції для отримання зображення графічних образів-моделей у растровому форматі. Також набір базових М-образів може бути використаний у підсистемі уточнення воксельних структур даних, а набір диференційних М-образів – у підсистемі градієнтного аналізу з подальшою візуалізацією результатів аналізу. Додаткова підсистема компілятора формульної мови FORTU використовується разом з підсистемами аналітичного опису моделі, попередній візуалізації досліджуваного об'єкта та побудови воксельних структур даних, для забезпечення компіляції досліджуваної функції трьох змінних. Всі інші підсистеми працюють тільки з воксельними структурами даних.

Всі моделі бізнес-процесів виконані у нотаціях IDEF0 та IDEF3.

Ключові слова: моделювання, R-функція, аналіз функцій, диференційні характеристики функцій, рух просторового градієнту, воксельний масив даних, образ-модель, графічний М-образ, РАНОК.

FUNCTIONAL MODEL OF THE BASIC BUSINESS PROCESSES OF THE “RANOK” SYSTEM

Myltsev O. M., Kondratieva N. O., Leontieva V. V.

Zaporizhzhya National University,
Zhukovsky str., 66, Zaporizhzhya, 69600, Ukraine

alexmyltsev@gmail.com

In this work it is proposed to consider the automated system of recursive analysis on figurative components (RANOK) in terms of its functional organization based on the main business processes of the system.

The RANOK system is based on the algorithm of recursive refinement of the area of the investigated object, given by analytical or piecewise-analytical method (R-function).

It allows you to organize the interface between the user and the computer using a special object-oriented formula FORTU, to make appropriate adjustments in the process of describing the information task presented in the form of an analytical expression.

Based on the received images that are different, but remotely reminiscent of a realistic representation, to make the most optimal solution. The specificity of such images is that they contain only graphically presented information about some local geometric characteristics of the surface of the function level for each examined point in the investigated area. Since the realistic image is a reflection of the set of differential characteristics organized in a single dependence, the proposed images are allotted to the constituent parts of a realistic image, remotely reminiscent of it.

Such images are allocated to a separate class of image-models (since they reflect some geometric property) or M-images.

This method allows us to combine a study of a surface with the ability to display its properties, which are detected only by means of differentiation. Thus, it can be noted that the ability of the end user to make the optimal solution can be greatly improved by using graphical representation of information in the form of M-images.

The article discusses the functional model of the main business processes of the recursive analysis system on the image components - RANOK. The system is represented by seven subsystems, which correspond to the seven main business processes. Business process models are made in IDEF0 and IDEF3 notation.

The presented system of constructing graphic information allows to carry out visual analysis of the surface of functions of three variables, increasing the efficiency of the analysis of various computing and information programs based on the analytical description.

Key words: modeling, R-function, analysis of functions, differential characteristics of a function, spatial gradient motion, voxel dataset, image-model, graphic M-image, RANOK.

ВСТУП

У процесі розвитку інформаційних технологій у різних аспектах господарської та наукової діяльності все активніше робляться спроби вдосконалити використання графічної інформації в автоматизації поставлених завдань. А саме, розглядаючи зображення як інформаційний потік графічних даних, який можна застосовувати для алгоритмізації прийняття рішень.

Останнім часом сучасна комп'ютерна техніка настільки зробила крок уперед, що інформаційні обсяги та алгоритми, що ще нещодавно виглядали нереально, знаходять нову платформу для застосування.

Математичне моделювання та можливості комп'ютерної графіки широко впроваджуються в усі аспекти наукової діяльності. Важко уявити напрямок науки, де б не використовувалася комп'ютерна графіка, що базується на принципах геометричного моделювання в аналітичному поданні.

Не випадково в області конструювання спостерігається підвищений інтерес до аналітичних принципів моделювання. Це насамперед пов'язано не тільки зі зростанням технічного рівня комп'ютерних технологій і розвитком образотворчих засобів на їх основі. Аналітична основа затребувана зростанням рівня промислових технологій, що автоматизують процес виготовлення деталей складної геометричної форми.

Нарівні з розвитком програм, що дозволяють будувати реалістичні зображення на основі піксельних структур на плоских проєкціях, активний розвиток отримали воксельні підходи, які формують об'єм у графічних даних. Лідуючі позиції в цьому напрямку поки утримує медицина, де у воксельному поданні моделюються внутрішні органи людини. Це пояснюється найперше тим, що медицина сьогодні найбільш оснащена пристроями просторового сканування на базі ультразвукових принципів, що дозволяють отримувати по зрізах просторову графічну інформацію досліджуваних частин тіла людини.

Воксельний підхід дозволяє розглядати графічну модель як віртуальне тіло в просторі, що моделюється, що відкриває безліч додаткових можливостей у його застосуванні.

Аналітичне просторове моделювання за проблемою схоже з медичним моделюванням на комп'ютері. В обох випадках потрібен допоміжний апарат, що працює на принципі просторового сканування, для визначення і формування тіла на базі воксельної 3D-моделі. Для аналітичного подання таким апаратом може служити обраний програмний принцип сканування досліджуваної області визначення функції (ітераційний, рекурсивний), а сам аналітичний об'єкт описаний на деякій проблемно-орієнтованій мові. Отже, потрібно створення інструментальної системи, що дозволяє ввести та дослідити функціональну залежність.

СИСТЕМА РЕКУРСИВНОГО АНАЛІЗУ НА ОБРАЗНИХ КОМПОНЕНТАХ

Вирішенню деяких аспектів цієї проблеми і присвячена дана робота, у якій пропонується розглянути автоматизовану систему рекурсивного аналізу на образних компонентах (РАНОК) з точки зору її функціональної організації на базі основних бізнес-процесів системи [1, 2].

Система РАНОК базується на алгоритмі рекурсивного уточнення області досліджуваного об'єкта [3], заданого аналітичним або кусково-аналітичним способом (R-функції) [4], дозволяє організувати інтерфейс між користувачем і комп'ютером за допомогою спеціальної об'єктно-орієнтованої формульної мови FORTU [5], внести відповідні коригування в процесі опису інформаційної задачі, представленої у вигляді аналітичного виразу. На основі отриманих образів, що відрізняються, але віддалено нагадують реалістичне представлення, прийняти найбільш оптимальне рішення. Специфіка таких зображень полягає в тому, що вони містять лише графічно представлену інформацію про деяку локальну геометричну характеристику поверхні рівня функції для кожної розглянутої точки досліджуваної області. Оскільки реалістичний образ являє собою відображення безлічі диференціальних характеристик, організованих в єдину залежність, то і запропоновані зображення є виділеними складовими частинами реалістичного образу, віддалено нагадуючи його. Дослідженню таких образів присвячені роботи О. В. Толока [6-8], де вони виділяються в окремий клас образів-моделей (оскільки відображають деяку геометричну властивість) або М-образів. Даний спосіб дозволяє поєднувати в собі дослідження поверхні з можливістю відображення таких її властивостей, які виявляються лише за допомогою диференціювання. Отже, можна зазначити, що здатність кінцевого користувача приймати оптимальне рішення може бути значно поліпшена за допомогою використання графічного подання інформації у вигляді М-образів.

ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ РАНОК

На рис. 1 зображена контекстна діаграма A0 основного бізнес-процесу «Система Рекурсивного Аналізу На Образних Компонентах» у нотації IDEF0, що відображає всі вхідні, вихідні дані, управління та механізми системи.

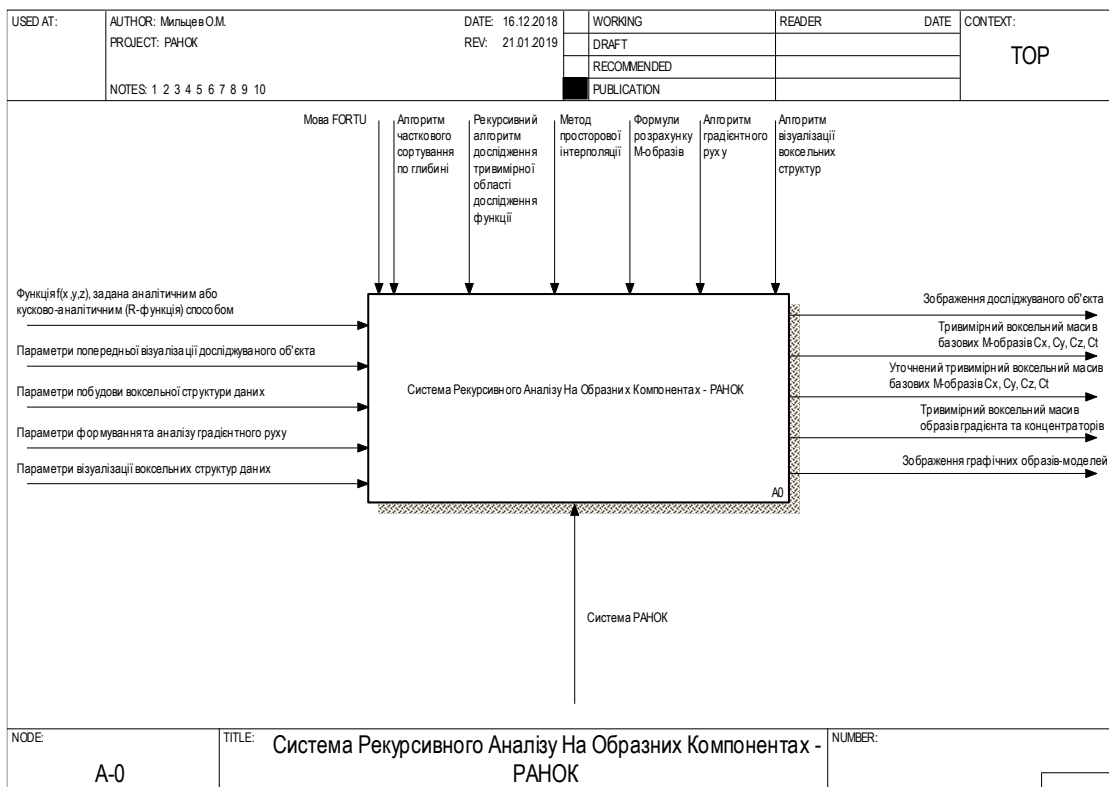


Рис. 1. Контекстна діаграма A0 бізнес-процесу «Система Рекурсивного Аналізу На Образних Компонентах»

З моделі видно, що основними зовнішніми даними, що є необхідними для функціонування системи, є:

1. Функція трьох змінних $f(x, y, z)$, задана аналітичним або кусково-аналітичним (R-функція) способом – це функція, що досліджуватиметься системою.
2. Параметри попередньої візуалізації досліджуваного об'єкта – параметри, що використовуються при формуванні зображення досліджуваної функції «на льоту» без застосування воксельних структур даних, а саме:
 - параметри області дослідження функції – габарити та центр сцени;
 - кількість ітерацій рекурсивного алгоритму;
 - тип відображуваних значень функції (позитивні, негативні або нульові);
 - вектор освітлення;
 - параметри обертання сцени;
 - параметри результуючого зображення.
3. Параметри побудови воксельної структури даних – параметри, що використовуються при формуванні тривимірного воксельного масиву даних функції, а саме:
 - параметри області дослідження функції – габарити та центр сцени;
 - кількість ітерацій рекурсивного алгоритму.
4. Параметри формування та аналізу градієнтного руху – параметри, що використовуються при формуванні та аналізу градієнтного руху на основі воксельних структур графічних образів-моделей, а саме:
 - параметри області дослідження градієнта;

- шаг градієнта;
 - метод аналізу градієнта;
 - тип концентраторів (максимум чи мінімум).
5. Параметри візуалізації воксельних структур даних – параметри, що використовуються при формуванні зображення досліджуваного об'єкта та воксельних графічних образів-моделей, а саме:
- параметри досліджуваної сцени – габарити та центр сцени;
 - тип відображуваних значень функції (позитивні, негативні або нульові);
 - вектор освітлення;
 - параметри обертання сцени;
 - параметри прозорості;
 - параметри градації кольору;
 - параметри перетинів;
 - вид М-образу, який треба використовувати при візуалізації (один із сімнадцяти М-образів або оригінальний об'єкт);
 - параметри візуалізації образів градієнта та концентраторів;
 - параметри результуючого зображення.

Даними на виході із основного бізнес-процесу можуть бути:

- 1) зображення досліджуваного об'єкта – отримане зображення оригінального об'єкта у растровому форматі;
- 2) тривимірний воксельний масив базових М-образів C_x , C_y , C_z , C_t – воксельна структура, яку отримуємо при формуванні тривимірних воксельних графічних образів-моделей та зберігаємо у зовнішньому файлі;
- 3) уточнений тривимірний воксельний масив базових М-образів C_x , C_y , C_z , C_t – нова воксельна структура, що отримуємо у результаті уточнення існуючого масиву методом просторової інтерполяції (без застосування аналітичної функції) та зберігаємо у зовнішньому файлі;
- 4) тривимірний воксельний масив образів градієнта та концентраторів – воксельна структура, яку отримуємо при формуванні та аналізі градієнтного руху на основі воксельних структур графічних образів-моделей та зберігаємо у зовнішньому файлі;
- 5) зображення графічних образів-моделей – отримане зображення графічних образів-моделей у растровому форматі.

У якості управління для основного бізнес-процесу виступають:

- 1) мова FORTU;
- 2) алгоритм часткового сортування по глибині;
- 3) рекурсивний алгоритм дослідження тривимірної області дослідження функції;
- 4) формули розрахунку М-образів;
- 5) алгоритм градієнтного руху;

- 6) метод просторової інтерполяції;
 7) алгоритм візуалізації воксельних структур.

Декомпозиція контекстної діаграми A0 бізнес-процесу «Система Рекурсивного Аналізу На Образних Компонентах» приведена на рис. 2, з якого можна бачити, що за функціональним призначенням система РАНОК складається з наступних семи підсистем:

- 1) *підсистема аналітичного опису моделі* – призначена для опису вихідної функції трьох змінних $f(x, y, z) \geq 0$, що задана аналітичним або кусково-аналітичним (R-функції) способом на деякій замкнутій прямокутній області, за допомогою спеціальної об'єктно-орієнтованої формульної мови FORTU для подальшого її використання *підсистемами попередньої візуалізації та побудови воксельних структур даних*;
- 2) *підсистема попередньої візуалізації* – формує зображення об'єкта «на льоту» (без формування та зберігання воксельних структур даних), використовуючи алгоритми рекурсивного уточнення та часткового сортування по глибині області дослідження функції, опис вихідної функції на мові FORTU та параметри попередньої візуалізації об'єкта;
- 3) *підсистема побудови воксельних структур даних* – формує тривимірний воксельний масив даних функції, використовуючи опис вихідної функції на мові FORTU, параметри побудови воксельної структури даних та рекурсивний алгоритм дослідження тривимірної області дослідження функції методом половинного ділення трьома взаємоперпендикулярними площинами на вісім подібних підобластей. Для кожної з отриманих підобластей застосовується та ж сама процедура, доки не буде досягнута задана глибина рекурсії. У результаті отримуємо воксельну організацію тривимірної області дослідження функції, де для кожного вокселя визначено знак та базовий набір диференційних характеристик функції у вигляді компонентів вектора нормалі N_x, N_y, N_z, N_t ;
- 4) *підсистема побудови графічних образів-моделей функції* – формує чотири набори тривимірних воксельних масивів графічних M-образів на базі отриманих диференційних характеристик функції:
 - набір базових M-образів C_x, C_y, C_z, C_t – зберігається у зовнішньому файлі;
 - набір M-образів $C_{tx}, C_{ty}, C_{tz}, C_{tt}$, що характеризують просторове положення горизонту спостерігача до об'єкта – формується на основі базових M-образів;
 - набір M-образів часткових похідних $C_{dx} = \partial f / \partial x, C_{dy} = \partial f / \partial y, C_{dz} = \partial f / \partial z$ – формується на основі базових M-образів;
 - набір диференційних M-образів $C_{xy} = \partial x / \partial y, C_{xz} = \partial x / \partial z, C_{yx} = \partial y / \partial x, C_{yz} = \partial y / \partial z, C_{zx} = \partial z / \partial x, C_{zy} = \partial z / \partial y$ – формується на основі базових M-образів.

Усі отримані набори M-образів можуть бути використані у *підсистемі візуалізації графічних образів-моделей функції*. Також набір базових M-образів може бути використаний у *підсистемі уточнення воксельних структур даних*, а набір диференційних M-образів – у *підсистемі градієнтного аналізу*;

- 5) *підсистема уточнення воксельних структур даних* – уточнює тривимірний воксельний масив базових M-образів методом просторової інтерполяції, підвищуючи деталізацію

вихідного об'єкта. Уточнений тривимірний воксельний масив базових М-образів зберігається у зовнішньому файлі і може бути використаний надалі;

- б) підсистема градієнтного аналізу – вирішує завдання визначення просторового руху по градієнту на основі воксельних структур М-образів, формуючи образи градієнта та концентраторів. Тривимірний воксельний масив образів градієнта та концентраторів зберігається у зовнішньому файлі та може бути використаний у підсистемі візуалізації графічних образів-моделей функції;
- 7) підсистема візуалізації графічних образів-моделей функції – формує зображення досліджуваного об'єкта та воксельних графічних образів-моделей, використовуючи алгоритм візуалізації воксельних структур даних та параметри візуалізації.

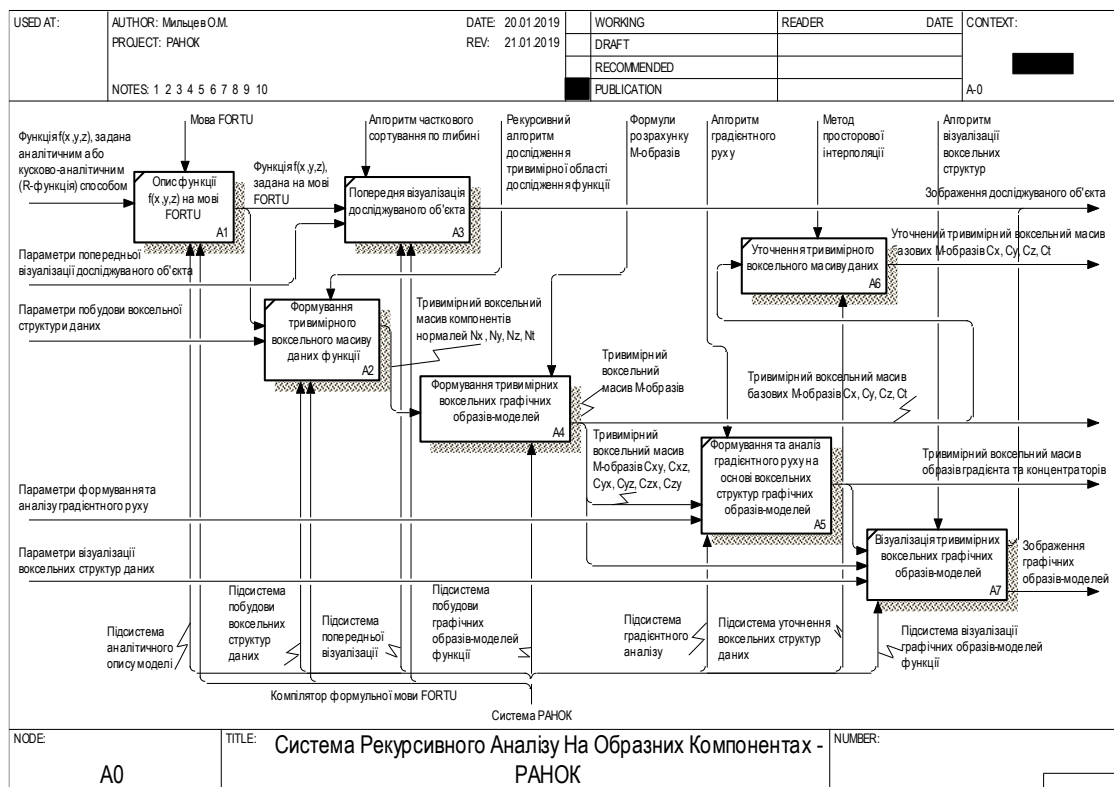


Рис. 2. Декомпозиція контекстної діаграми А0 бізнес-процесу «Система Рекурсивного Аналізу На Образних Компонентах»

Діаграма бізнес-процесу «Формування тривимірних воксельного масиву даних функції» у нотації IDEF0 зображена на рис. 3.

Діаграма бізнес-процесу «Формування тривимірних воксельних графічних образів-моделей» у нотації IDEF0 зображена на рис. 4.

Документування функціональних блоків А4.1, А4.2 та А4.3 зображені на рис. 5-7 у нотації IDEF3. Бізнес-процес А4.4 проходить аналогічно А4.3 (рис. 4, рис.7).

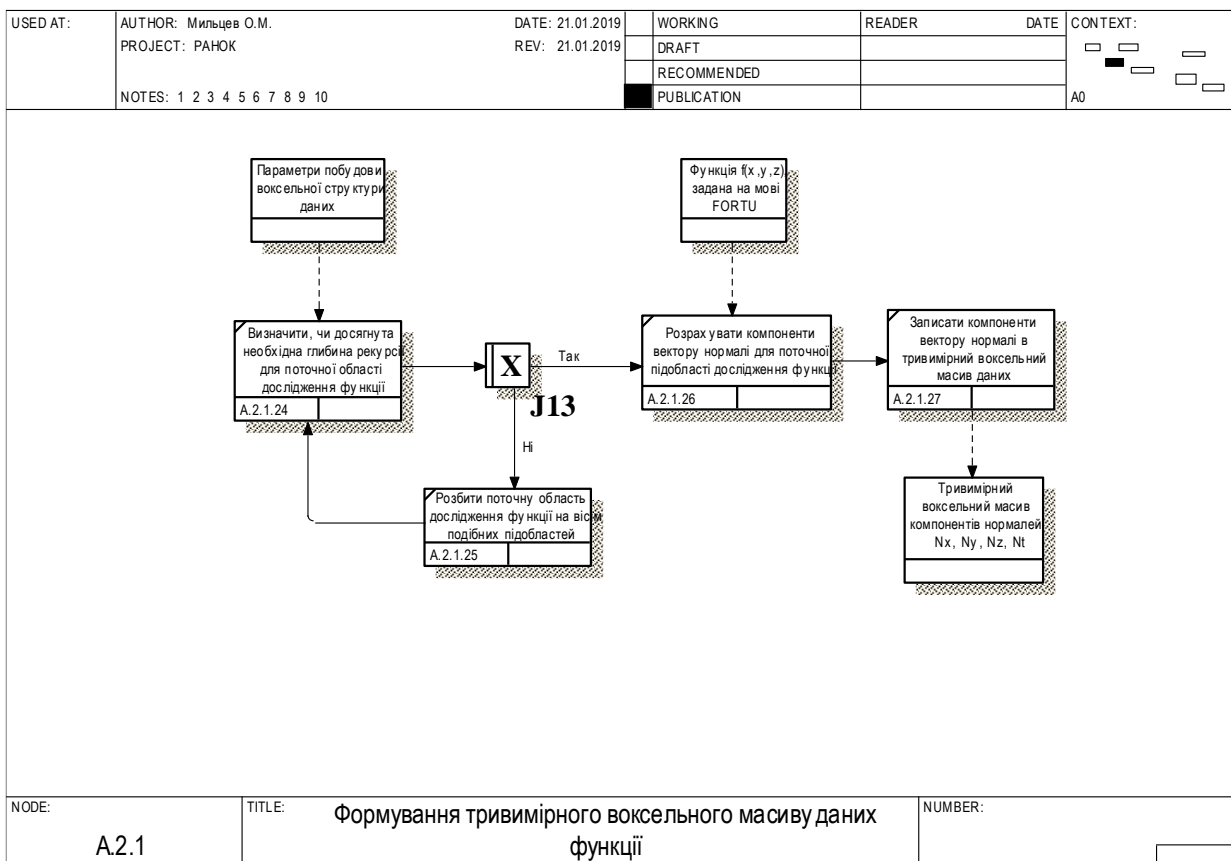


Рис. 3. Діаграма бізнес-процесу «Формування тривимірних воксельного масиву даних функції»

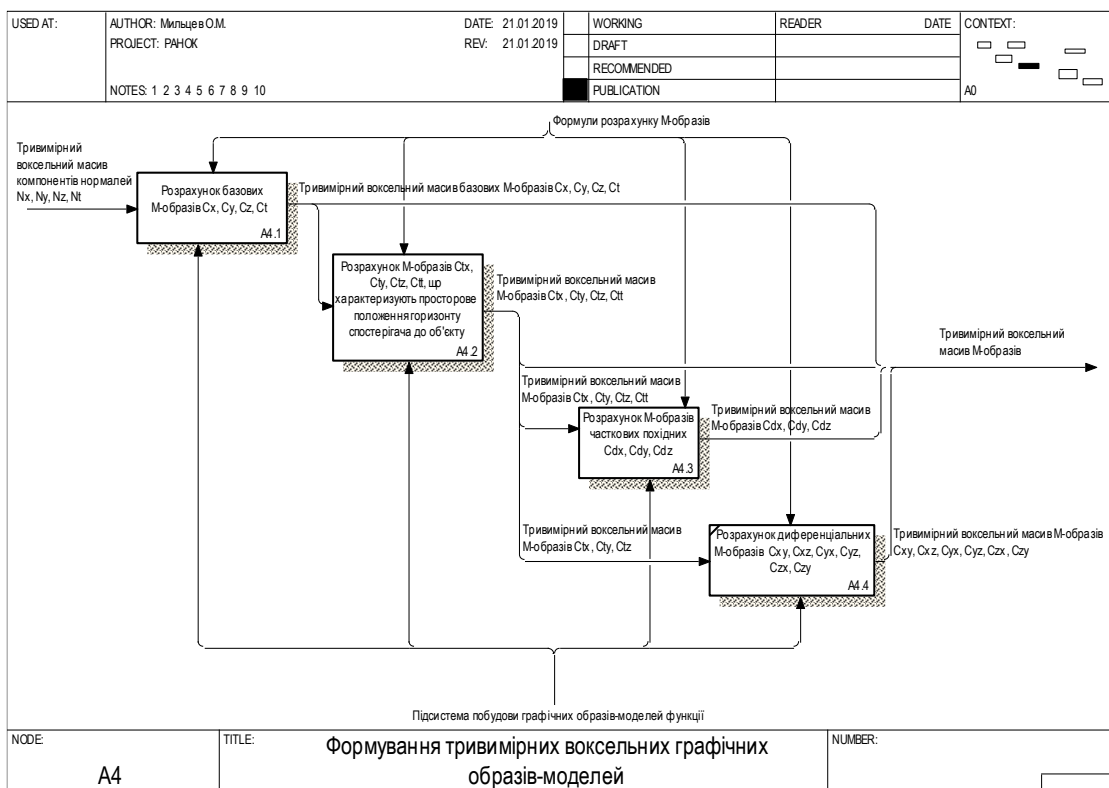


Рис. 4. Діаграма бізнес-процесу «Формування тривимірних воксельних графічних образів-моделей»

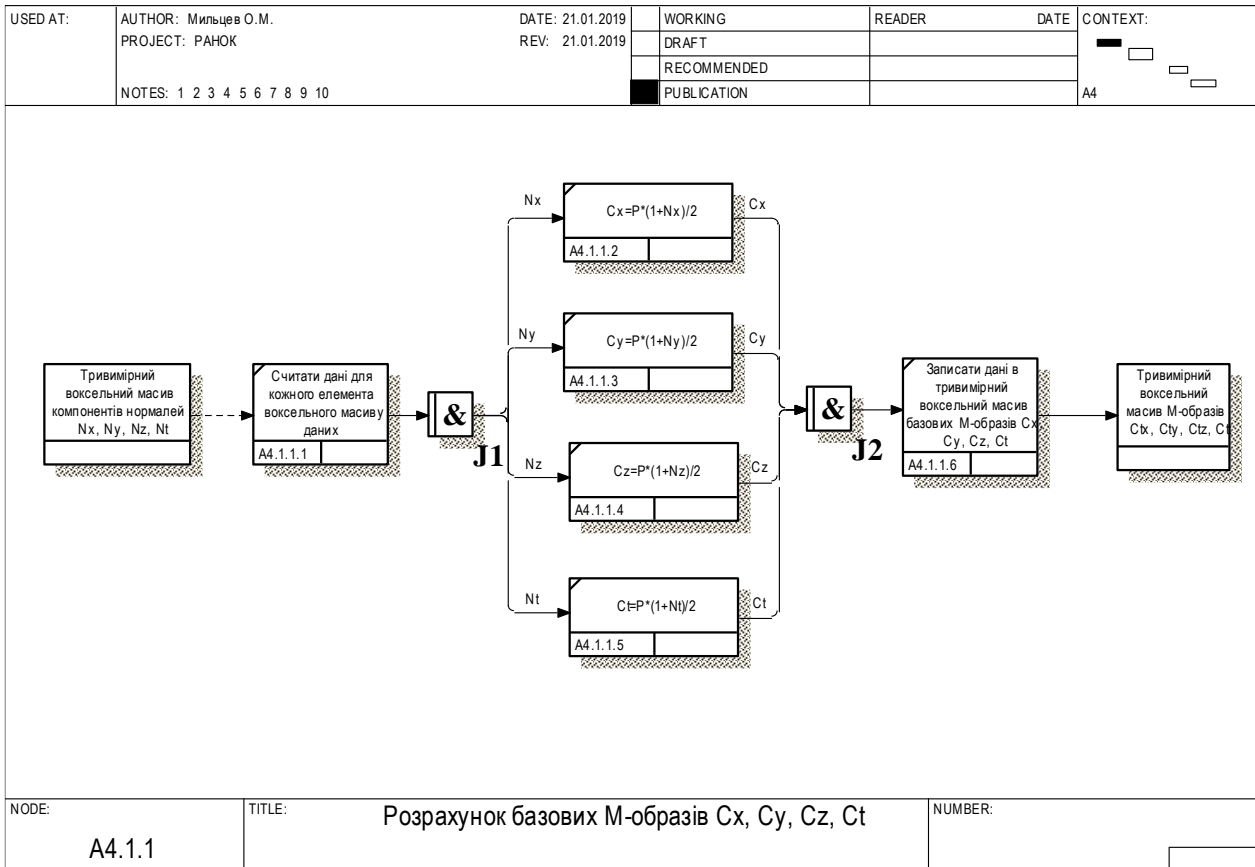


Рис. 5. Діаграма бізнес-процесу «Розрахунок базових М-образів Cx, Cy, Cz, Ct»

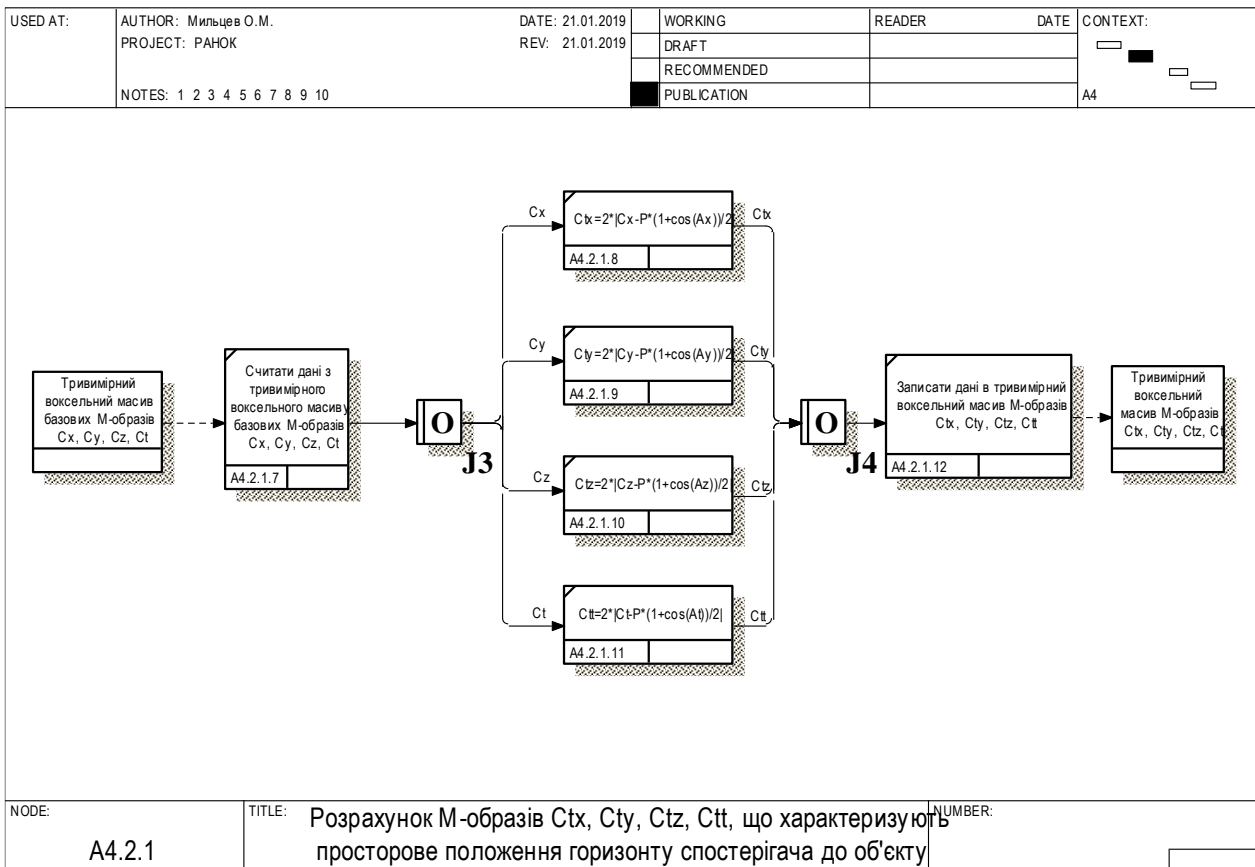


Рис. 6. Діаграма бізнес-процесу «Розрахунок М-образів Ctx, Cty, Ctz, Ctt, що характеризує просторове положення горизонту спостерігача до об'єкта»

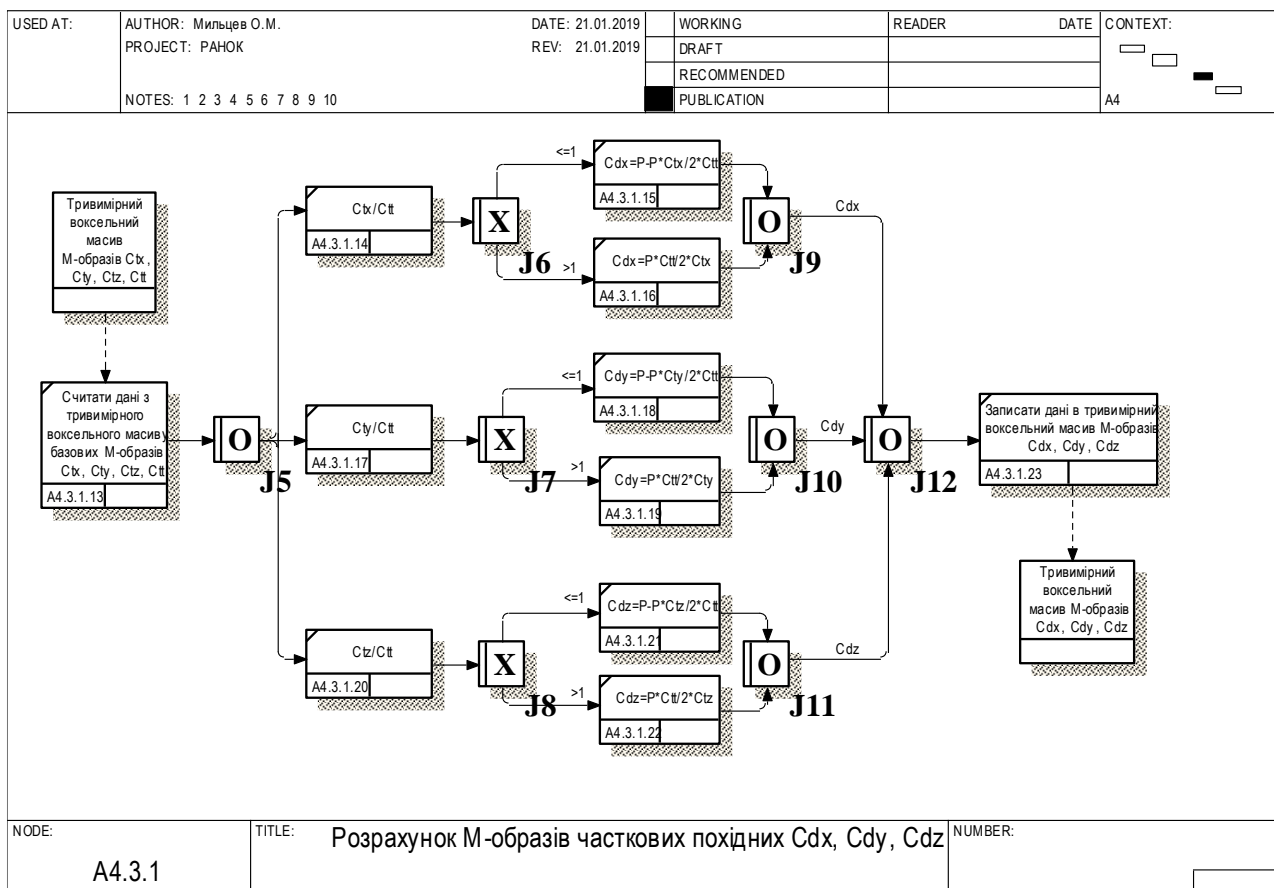


Рис. 7. Діаграма бізнес-процесу «Розрахунок М-образів часткових похідних Cdx, Cdy, Cdz»

Діаграма дерева вузлів перших двох рівнів основного бізнес-процесу «Система Рекурсивного Аналізу На Образних Компонентах» зображена на рис. 8.

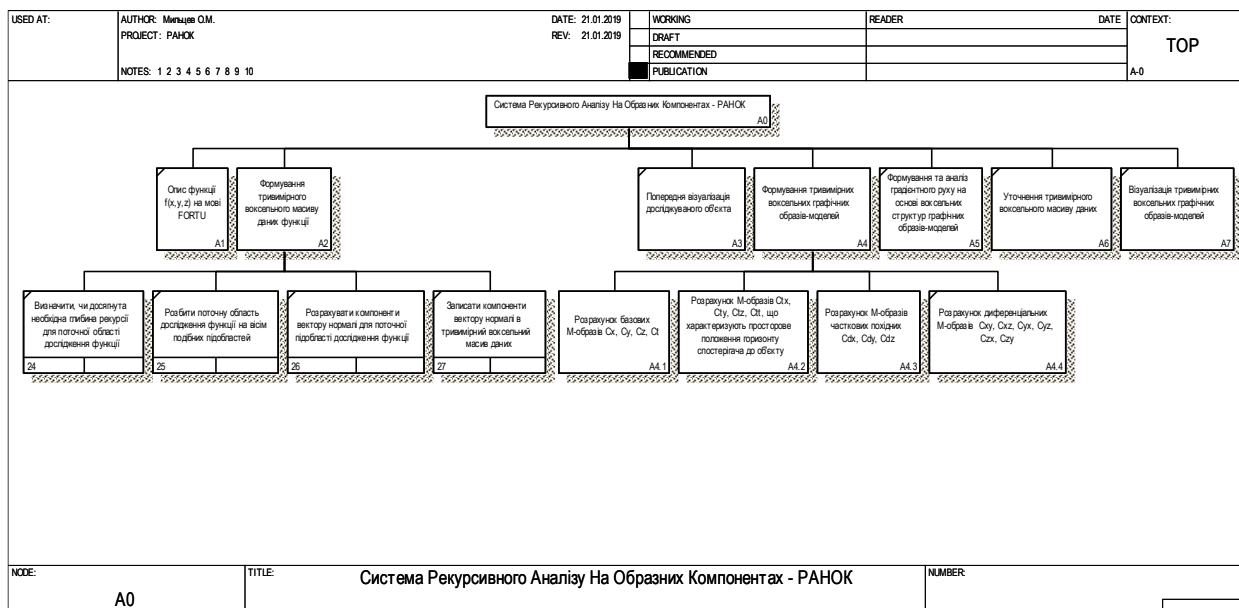


Рис. 8. Діаграма дерева вузлів перших двох рівнів бізнес-процесу «Система Рекурсивного Аналізу На Образних Компонентах»

ВИСНОВКИ

Представлена система побудови графічної інформації дозволяє проводити візуальний аналіз поверхні функції трьох змінних, підвищуючи ефективність аналізу різних обчислювальних та інформаційних програм, заснованих на аналітичному описі.

Загалом отримана воксельна образна модель функції, що складається із 17 М-образів, дозволяє виконувати основні процедури математичного аналізу, такі як:

- визначення часткових похідних за обраними осями;
- зростання або спадання функції на обраному напрямку;
- визначення критичних точок, ліній та областей, локальних екстремумів;
- визначення областей позитивних та негативних значень;
- аналіз просторового градієнта.

ЛІТЕРАТУРА

1. Толлок А. В. Синтез компьютерных образов геометрических характеристик для оценки рельефа поверхности функции двух переменных. *Збірник доповідей НАН України. Математика, природознавство, технічні науки*. 2004. № 4. С. 63–69.
2. Гоменюк С. И., Толлок А. В. Моделирование образной оценки градиента на рельефе поверхности. *Научно-теоретический журнал «Искусственный Интеллект»*. 2004. № 1. С. 113–119.
3. Мыльцев А. М., Толлок А. В. Математическая модель визуализации динамического массива данных при построении трехмерных сцен. *Вісник Запорізького державного університету: зб. наук. статей. Фізико-математичні науки. Біологічні науки*. 2002. № 3. С. 76–82.
4. Рвачев В. Л., Толлок А. В., Уваров Р. А., Шейко Т. И. Новые подходы к построению уравнений трехмерных локусов с помощью R-функций. *Вісник Запорізького державного університету: зб. наук. статей. Фізико-математичні науки*. 2000. № 2. С. 119–131.
5. Толлок А. В., Толлок В. А., Гоменюк С. И. Язык описания схем решения задач теории упругости и пластичности. *Новые информационные технологии в науке, образовании и бизнесе: XXVI Междунар. конф. и дискус. науч. клуб IT+SE'99*. Ялта; Гурзуф, 1999. С. 43–46.
6. Толлок А. В., Мыльцев А. М., Корогод В. Л. Аналитическое моделирование на основе графических преобразований в системе «РАНОК». *Вісник Запорізького національного університету: зб. наук. статей. Фізико-математичні науки*. 2006. № 1. С. 124–133.
7. Корогод В. Л., Мыльцев А. М., Толлок А. В. Математическая модель уточнения трехмерного массива данных методом пространственной интерполяции. *Вісник Запорізького державного університету: зб. наук. статей. Фізико-математичні науки. Біологічні науки*. 2003. № 1. С. 42–48.
8. Морозов Д. Н., Гнездовский А. В., Мыльцев А. М., Толлок А. В. Когнитивная компьютерная графика в процессе решения оптимизационных задач математического моделирования. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2010. Вип. 86. С. 112–117.

REFERENCES

1. Tolok, A. V. (2004). Synthesis of computer images of geometric characteristics for the evaluation of the surface relief of a function of two variables. *Zbirnyk dopovidey NAN Ukrayiny. Matematyka, pryrodoznavstvo, tekhnichni nauky*, No. 4, pp. 63-69.
2. Gomenyuk, S. I. & Tolok, A. V. (2004). Modeling of a figurative gradient estimation on the surface relief. *Nauchno-teoreticheskiy zhurnal «Iskusstvennyy Intellekt»*, No. 1, pp. 113-119.
3. Myl'tsev, A. M. & Tolok, A. V. (2002). Mathematical model of visualization of a dynamic data array when constructing three-dimensional scenes. *Visnyk Zaporiz'koho derzhavnoho universytetu: Zbirnyk naukovykh statey. Fyzyko-matematychni nauky. Biolohichni nauky*, No. 3, pp. 76-82.

4. Rvachev, V. L., Tolok, A. V., Uvarov, R. A. & Sheyko, T. Y. (2000). New approaches to the construction of equations of three-dimensional loci using R-functions. Visnyk Zaporiz'koho Derzhavnoho universytetu: Zbirnyk naukovykh statey. Fizyko-matematychni nauky, No. 2, pp. 119-131.
5. Tolok, A. V., Tolok, V. A. & Gomenyuk, S. I. (1999). A language for describing schemes for solving problems in the theory of elasticity and plasticity. Proceedings off the XXVI Mezhdunarodnaya konferentsiya i diskussionnyy nauchnyy klub IT+SE'99 "Novyye informatsionnyye tekhnologii v nauke, obrazovanii i biznese", (pp. 43-46). Yalta-Gurzuf.
6. Tolok, A. V., Myl'tsev, A. M. & Korohod, V. L. (2006). Analytical modeling based on graphic transformations in the RANOK system. Visnyk Zaporiz'koho natsional'noho universytetu: Zbirnyk naukovykh statey. Fizyko-matematychni nauky, No.1, pp. 124-133.
7. Korohod, V. L., Myl'tsev, A. M. & Tolok, A. V. (2003). Mathematical model for refining a three-dimensional data array using spatial interpolation. Visnyk Zaporiz'koho derzhavnoho universytetu: Zbirnyk naukovykh statey. Fizyko-matematychni nauky. Biolohichni nauky, No. 1, pp. 42-48.
8. Morozov, D. N., Gnezdovskiy, A. V., Myl'tsev, A. M., & Tolok, A. V. (2010). Cognitive computer graphics in the process of solving optimization problems of mathematical modeling. Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika, Issue 86, pp. 112-117.

УДК 539.3

DOI: 10.26661/2413-6549-2018-2-10

ПРО ОДИН СПОСІБ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ КОМПОЗИТІВ В ОКОЛІ КУТОВИХ ТОЧОК

Михаїл О. В., Лобода В. В., д. ф.-м. н., професор

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, 49000, Україна*

loboda@dnu.dp.ua

Запропонована методика визначення степені особливості напружень в околі куткових точок біматеріальних тіл, яка оснований на методі скінченних елементів. Для конкретної області, яка являє собою два спаяні різнорідні прямокутники різної ширини, побудована скінченно-елементна сітка, що має суттєве згущення при підході до кутової точки. Реалізація методу скінченних елементів на такій сітці показує значний ріст напружень в околі кутової точки. Використовуючи відому формулу, що визначає поведінку напружень у вказаній області, а також результати скінченно-елементного аналізу, визначено ступінь особливості напружень, а також коефіцієнт при цій особливості, що може розглядатись як узагальнення коефіцієнту інтенсивності напружень на випадок особливості, відмінної від кореневої. Реалізація методики проведена на прикладах однорідної області та для випадку, коли модулі пружності матеріалів підобластей відрізняються у дев'ять разів. Продемонстровано поведінку нормального та дотичного контактних напружень для обох випадків та проведено їх порівняння.

Розглянута також близька по суті задача, яка виходить, коли нижній прямокутник замінити нескінченною половою, а верхній півполовою. У цьому випадку для розв'язку використано аналітичний метод, що базується на застосуванні інтегральних перетворень Фур'є. У результаті їх використання проблема зводиться до системи сингулярних інтегральних рівнянь на проміжку, що співпадає із зоною контакту, яка включає рухомі та нерухомі особливості в ядрі. Методом механічних квадратур, що базується на використанні многочленів Якобі, побудовано наближений розв'язок цієї системи і на його основі визначено контактні напруження та їх ступінь особливості при підході до куткових точок. Проведено порівняння результатів, отриманих методом скінченних елементів та шляхом аналітичного аналізу і встановлено їх хорошу узгодженість.

Ключові слова: біматеріал, кутова точка, плоска задача, метод скінченних елементів.