

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ CORDIC У БІОМЕТРИЧНИХ СИСТЕМАХ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВІДБИТКІВ ПАЛЬЦІВ

Біометричні системи доступу побудовані на основі аналізу відбитків пальців набули широкого розповсюдження тому актуальною є проблема створення цих комплексів чи окремих функціональних компонентів до них. У статті представлено новий підхід до побудови пристроїв розпізнавання відбитків пальців. Запропоновано метод обчислення арктангенса та кореня квадратного на основі алгоритму Волдера (CORDIC). Завдяки обчислювальній простоті та високій швидкодії, цей метод чудово підходить для вирішення типових задач біометрії.

Ключові слова: біометрична система, доступ, ідентифікація, пристрій розпізнавання.

Вступ. У наш час все більшого поширення набувають біометричні системи контролю доступу. Ці системи використовують для ідентифікації людей за біометричними параметрами, які є унікальними для кожного. Такими параметрами можуть бути відбитки пальців, форма долоні, сітківка ока, форма і особливості обличчя та інші.

Однією з найпоширеніших є система ідентифікації за відбитками пальців. Її переваги в простоті використання, зручності та надійності. Весь процес ідентифікації займає мало часу і не потребує зайвих зусиль від користувачів. Ймовірність помилки при ідентифікації набагато менша у порівнянні з іншими біометричними методами. Окрім цього, такі пристрої є компактними та зручними.

Порівняння відбитків пальців. Унікальність кожного відбитка пальця можна визначити за узором, утвореним виступами та борозенками, а також за іншими деталями. Узагальнено, можна виділити три класи алгоритмів порівняння відбитків пальців [2]:

- за особливими точками (мінусіями);
- кореляційний аналіз;
- гібридні методи (в т.ч. за узором відбитку).

В силу простоти реалізації та швидкості роботи, метод порівняння за особливими точками є найбільш поширеним. У цьому методі виділяють два типи мінусій (Рис.1):

- кінцеві точки (закінчення папілярних ліній – Рис. 1 а);
- точки розгалуження (роздвоєння папілярних ліній – Рис. 1 б).



Рис.1. Типи особливих точок

При аналізі зображення, розглядають комбінації пар особливих точок, та на їх основі будують шаблон відбитку [2]. Для кожної утвореної пари мінусій (див. Рис. 2) обчислюють тріплет вигляду (d, ϕ, γ) , де:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} - \text{модуль вектора};$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}\right),$$

$$\phi = \alpha - \beta_0, \quad \gamma = \beta_1 - \beta_0 - \text{спрямування мінусій}.$$

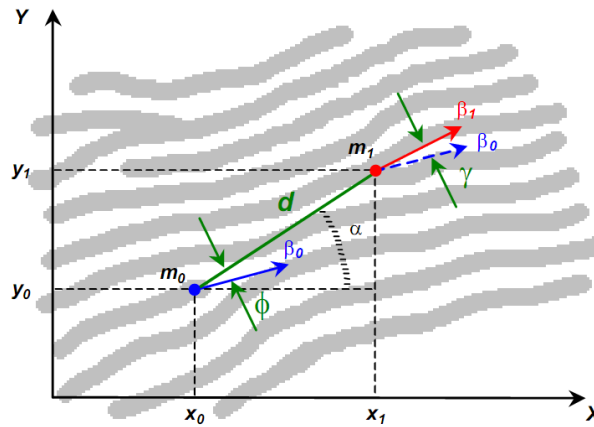


Рис.2. Аналіз пари особливих точок

Таким чином, шаблон містить формалізований опис деталей відбитку, заданий у відносних величинах, що нівелює зміною орієнтації зображення чи його перенесенням під час сканування. Алгоритм порівняння відбитків, працює з шаблонами, оцінюючи процент співпадінь, між відповідними наборами тріплетів.

Застосування методу CORDIC. Під час створення шаблону, актуальною є проблема обчислення модуля вектора та функції арктангенса, використовуючи наявну апаратну платформу.

Якщо обчислювати функції

$$\sqrt{X^2 + Y^2} \text{ та } \arctan\left(\frac{Y}{X}\right), \quad (1)$$

прямим методом, необхідно виконати п'ять основних операцій: піднесення до квадрату X та Y , добування кореня, ділення Y на X та обчислення арктангенса для знаходження кута. Виконання цих операцій суттєво впливає на швидкодію усієї системи, оскільки вони є ключовими під час виконання алгоритму побудови шаблону відбитку пальців.

У цьому випадку необхідно використати методи, що дозволять максимально швидко, при невеликих апаратних затратах, виконати наведені обчислення. Пропонується для цього використати CORDIC (метод Волдера). Аналіз літератури показує, при побудові системи на ПЛІС, CORIDC реалізація дозволяє зменшити необхідну кількість логічних елементів, більш як у два рази у порівнянні з блоком прямого обчислення [1].

Застосувавши метод Волдера у режимі «вектор» можна паралельно виконати усі п'ять операцій. При цьому, використовуються лише прості операції: додавання, віднімання та зсув, що дозволяє здійснювати проектування практично на будь-яких апаратних платформах, з обмеженими обчислювальними ресурсами.

CORIDC – це ітераційний алгоритм, узагальнена формула однієї ітерації, у режимі «вектор» має вигляд:

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= x_i + y_i 2^{-i} \\ y_{i+1} &= y_i - x_i 2^{-i}, \\ z_{i+1} &= z_i + \alpha_i \end{aligned} \quad (2)$$

де i - номер ітерації, $\alpha_i = \arctan 2^{-i}, i = 0, 1, 2, \dots, m$ - таблиця кутів елементарних поворотів.

Якщо на вхід ітераційного алгоритму (2) подати дані:

$$x_0 = X, \quad y_0 = Y, \quad z_0 = 0, \quad (3)$$

то після виконання m ітерацій отримаємо:

$$x_m = K_m \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad z_m = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (4)$$

тут K_m коефіцієнт деформації вектора, що є константою для фіксованого числа ітерацій. Виконання операції множення на цей коефіцієнт можна звести до операцій додавання, віднімання та зсуву, що є особливо важливим при реалізації пристрою на ПЛІС.

Проте, метод має ряд недоліків, одним з яких є достатньо обмежений проміжок обчислення функції арктангенса.

Запропонований метод обчислення. Алгоритм можна розбити на три етапи. На **першому** етапі, на основі аналізу вхідних значень $[X Y]$, визначається октант у якому знаходиться вектор. Після цього вхідний вектор переноситься у нульовий октант. Для цього нехтується знаковим розширенням: $x = |X|$, $y = |Y|$. Утворений вектор буде знаходитися у нульовому (при $x > y$) чи у першому (при $y < x$) октантах. Якщо вектор знаходиться у першому октанті, переносимо його в нульовий: $x_0 = y$, $y_0 = x$. В іншому випадку $x_0 = x$, $y_0 = y$. Утворений таким чином вектор завжди знаходиться в нульовому октанті, тобто кут φ , між ним та віссю абсцис, належить відрітку $[0 \dots \pi / 4]$.

На **другому** етапі обчислюються значення $\varphi = \arctan\left(\frac{y_0}{x_0}\right)$ та $x = K_m \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$, використовуючи вдосконалений алгоритм. Збільшення швидкодії досягається за рахунок пропускання ітерацій (здійснення одностороннього повороту вектора).

На **третьому** етапі проводиться корекція отриманих результатів. Для цього здійснюється операція множення та величину обернено до коефіцієнта деформації, при обчисленні модуля вектора, а також визначається наближене значення кута, враховуючи октант, у якому знаходився вхідний вектор. Величину обернено до коефіцієнта деформації вектора (для $m=16$ біт), можна обчислити за формулою:

$$P = 2^0 - 2^{-3} - 2^{-6} - 2^{-15}$$

Таким чином, можна обійтися без помножувачів, отримавши результат на основі операцій зсуву та додавання.

Вдосконалений метод обчислення. Запропонований алгоритм обчислення функцій арктангенса та кореня квадратного реалізується трьома послідовними обчислювальними блоками. Після здійснення попередньої обробки вхідних даних та перенесення вхідного вектора у нульовий октант, дані подаються на перший блок обробки.

У **першому** блоці обробки реалізовано класичний алгоритм CORDIC у режимі «вектор» за формулами (2-3), але таким чином проводиться всього чотири перші ітерації $i = \overline{0 \dots 3}$.

Другий блок обробки (Рис. 3 а) проводить ітерації на кроках $i = \overline{4 \dots 7}$, але тільки у тому випадку, коли виконується умова:

$$dx \leq |y|, \quad (5)$$

де y , $dx = x \cdot 2^{-i}$ - значення обчислені після виконання першого блоку обробки.

Завдяки умові (5) вдається досягнути збільшення швидкодії алгоритму за рахунок пропускання частини ітерацій.

На кожній ітерації здійснюються обчислення за класичними формулами (2), але для досягнення необхідної точності, результат роботи кожної ітерації необхідно коригувати за формулами:

$$\begin{aligned} x_i &= x_i \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{2}\right) \\ y_i &= y_i \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{2}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

У третьому блоці (Рис.3-Б) обчислення ітерації здійснюються за формулами:

$$\begin{aligned} \delta &= \text{sign}(y_i), \\ y_{i+1} &= y_i - \delta \cdot x \cdot 2^{-i} \\ z_{i+1} &= z_i + \delta \cdot \arctan(2^{-i}) \end{aligned} \quad (7)$$

де x, y_i - значення отримані після роботи другого обчислювального блоку.

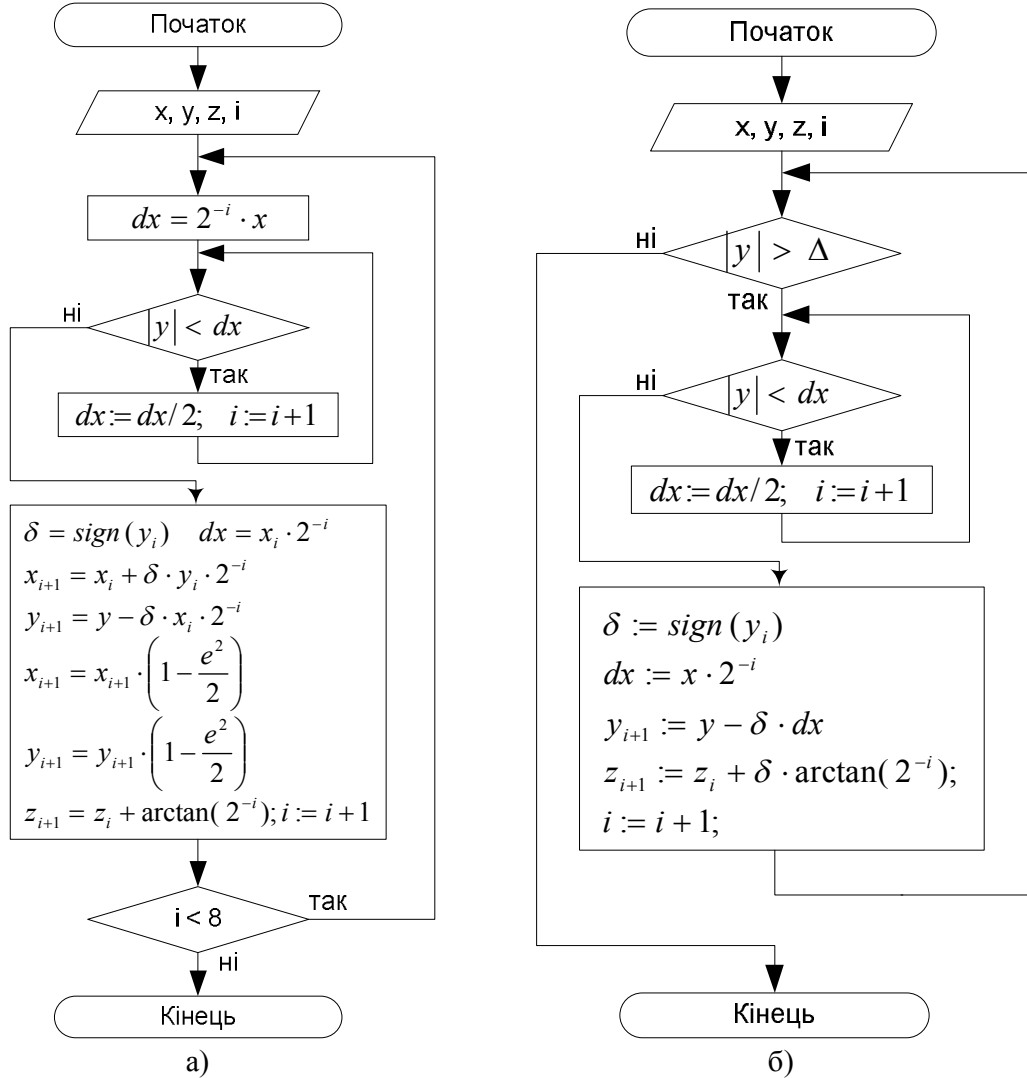


Рис. 3. Блок-схеми алгоритму обчислення:
 а) схема роботи другого блоку обчислення;
 б) схема роботи третього блоку обчислення

На цьому блоці збільшення швидкодії досягається за рахунок зменшення кількості обчислень (змінна x не перераховується кожного разу) та пропускання частини ітерацій. Ітерації проводяться у випадку виконання умов (8), (9):

$$|y_i| \leq \Delta \quad (8)$$

$$|y_i| \geq x \cdot 2^{-i} \quad (9)$$

де Δ - задана точність обчислення (для $m = 16$ біт точності результату $\Delta = 2^{-16}$)

Результати моделювання. Вдосконалений та класичний алгоритми було реалізовано на тестовому стенді побудованого на основі 8-ми бітного мікроконтролера AVR ATmega16. Відповідні підпрограми написані на асемблері, що гарантує виключення сторонніх впливів на швидкодію з боку компілятора високого рівня, а також гарантує максимальну швидкість

виконання алгоритмів. Алгоритми побудовані з розрахунком на обчислення результату з точністю 16 біт.

Для порівняння здійснено табулювання функцій арктангенса та кореня квадратного з наступними вхідними даними:

$$x_0 = 1, \quad y_0 = [0..1], \quad z_0 = 0$$

Порівняння по швидкості обчислення (середній кількості тактів):

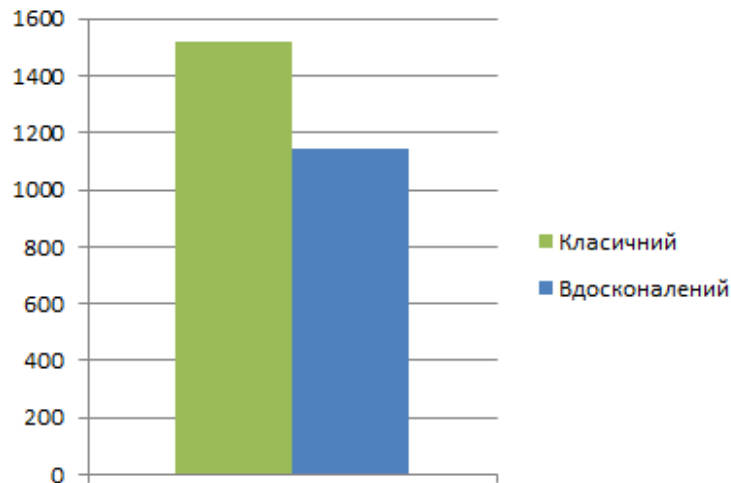
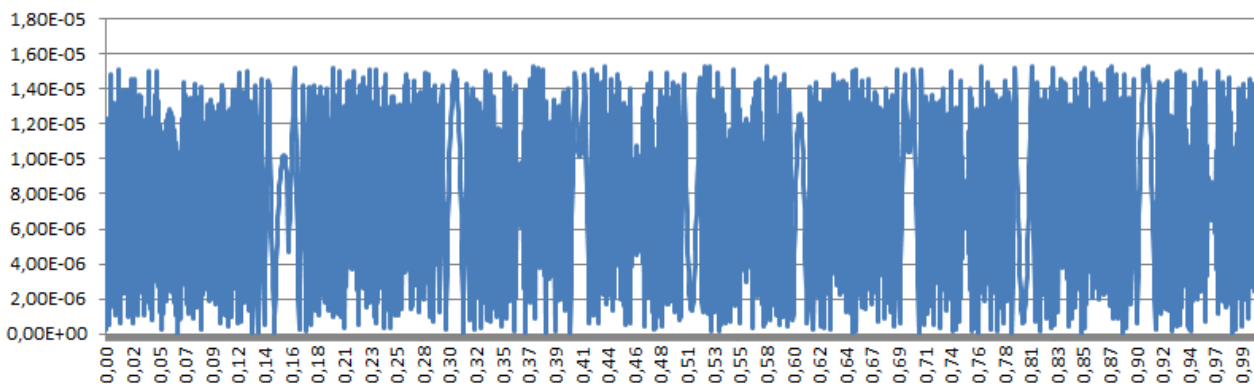


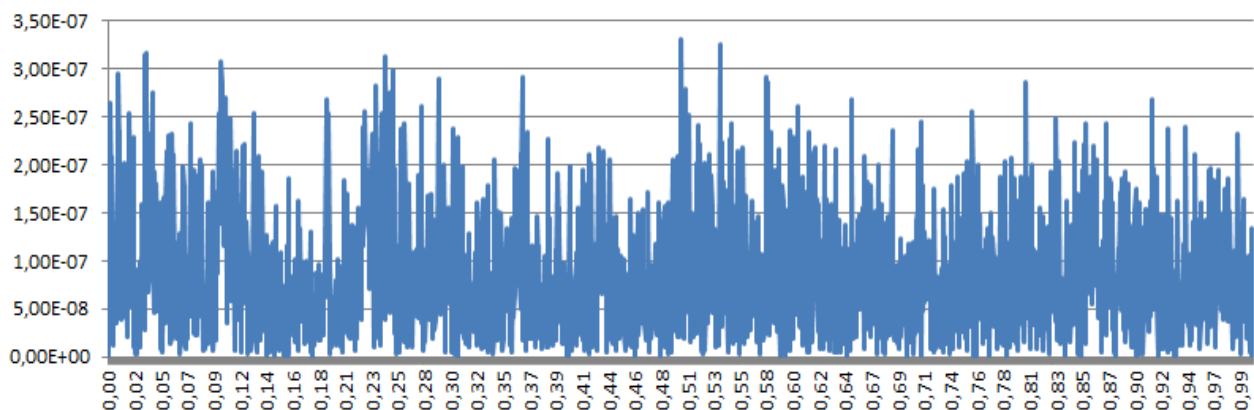
Рис. 4. Середня кількість ітерації необхідних для обчислення пари функцій atan/sqrt

Оцінка модуля похибки для кожного з методів:

Класичний CORIDC. Арктангенс



Класичний CORDIC. Корінь квадратний



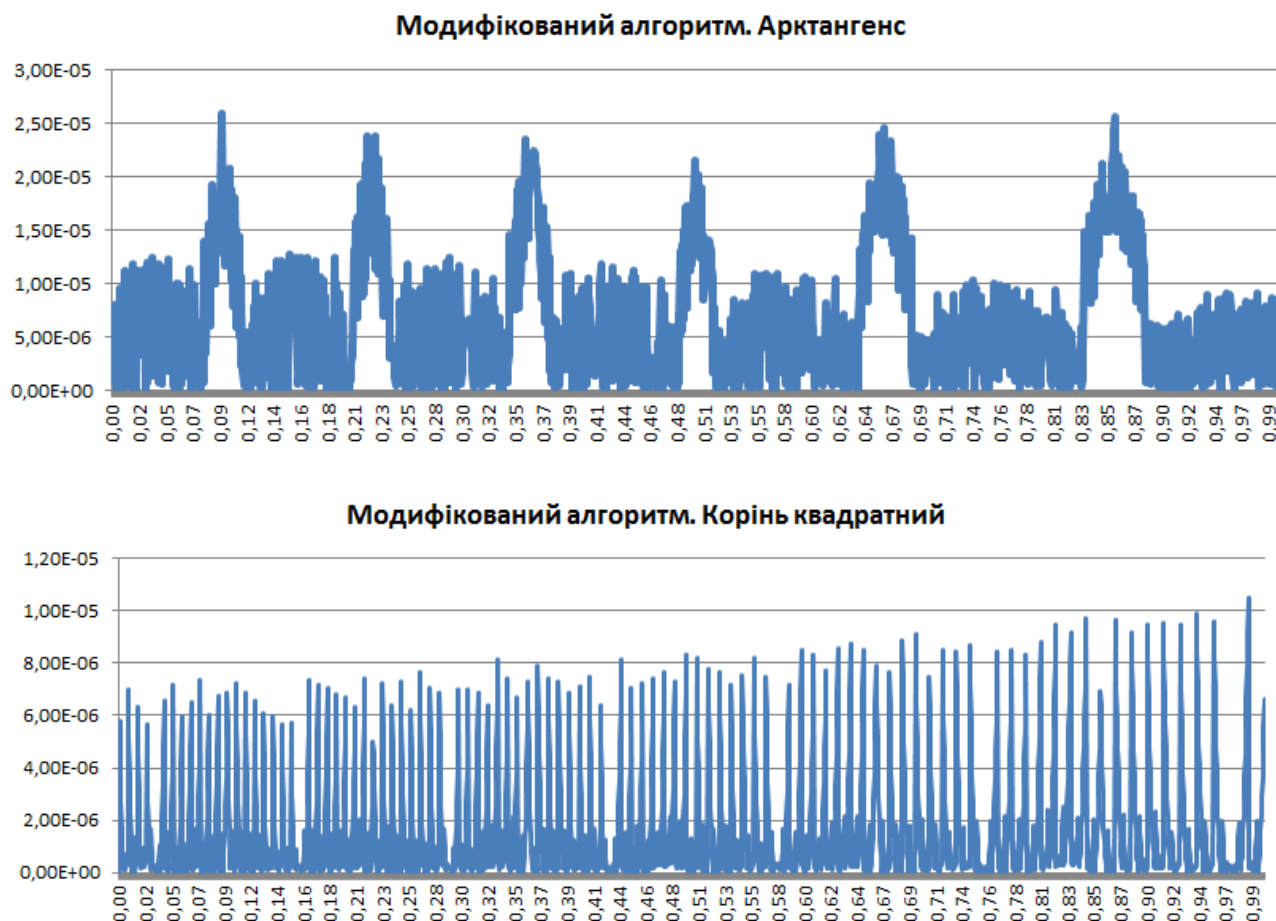


Рис. 5. Порівняння точності обчислення за модулем абсолютної похибки

Висновок. Проаналізувавши отримані результати бачимо, що модифікований алгоритм не забезпечує 16 біт точності результату на обчисленні арктангенса, проте має вищу швидкодію. Усунути похибку можна, модифікувавши алгоритм роботи другого обчислювального блоку, проте це може вплинути на загальну швидкодію, через введення додаткових обчислень та необхідність зберігання змінних у стеку.

Застосування обчислювального методу CORDIC дає можливість суттєво спростити реалізацію та ефективно використовувати апаратні ресурси при побудові біометричних систем доступу на основі аналізу відбитків пальців.

ЛІТЕРАТУРА

1. Alexander S., Pfann E., Stewart R. An improved algorithm for assessing the overall quantisation error in FPGA based CORDIC systems computing a vector magnitude // Journal Microprocessors & Microsystems, Volume 31 Issue 2, March, 2007, PP 87–93
2. Fons M., Fons F., Canto E. Hardware-Software Co-design of a Fingerprint Matcher on Card // Electro/information Technology, 2006 IEEE International Conference, 7-10 May 2006, PP 113 – 118
3. Hepp S., Klima G., Kadlec A. Exploring Hardware Software Partitioning on the Example of a Fingerprint Verification System // Austrochip 2008, Linz, Austria, Oct.2008. <http://www.vmars.tuwien.ac.at>
4. Lopez M., Canto E., Fons M. Hardware Coprocessor Design for Fingerprint Image Enhancement // Circuits and Systems, 2006. MWSCAS '06. 49th IEEE International Midwest Symposium on 6-9 Aug. 2006, PP 520 – 524.
5. Fons F., Fons M., Cantó E., López M., Procesador Hardware Auto-Reconfigurable de Huella Dactilar // VII Jornadas de Computación Reconfigurable y Aplicaciones (JCRA0'2007), pp. 19-26, Zaragoza, Septiembre 2007, (Spanish)

Надійшла: 20.09.2012р.

Рецензент: д.т.н., проф. Хорошко В.А.