

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТЕХНОПАРКУ

Розглянуто модель СППР технопарку, на основі системи рівнянь Лотке–Вольтерра побудована модель конкурентної взаємодії фірм-інноваторів, сформульовано задачі управління розподілом венчурного капіталу, для трьох фірм побудований чисельний алгоритм розв'язку задачі оптимального управління на багатопроцесорних ЕОМ. Результати чисельного моделювання підтвердили доцільність використання запропонованого підходу для підтримки прийняття рішень щодо управління розвитком технопарку.

Ключові слова: прийняття рішень, система рівнянь Лотке–Вольтерра, венчурний капітал, модель системи, система підтримки прийняття рішень.

Постановка проблеми. Одним з аспектів інформаційної підтримки інновацій є забезпечення оцінки їх ефективності. Можна виділити дві групи методів моделювання: аналітичні математичні моделі різних класів; методи, що спираються на використання експертних знань. Моделювання конкуренції компаній на ринку товарів і послуг ґрунтується на моделях типу "хижак"–"жертва", які описуються системами диференціальних рівнянь типу Лотка–Вольтерра [1], [3], [4]. Вивченню проблем інформаційної підтримки інноваційної діяльності та моделювання інноваційних процесів у соціально-економічних системах в сучасному світі присвячені роботи багатьох авторів – Everett M.Rogers, Frank M.Bass, С.Ю. Глазьев.

Метою статті є розробка комплексу моделей управління процесом розподілу венчурного капіталу для системи підтримки прийняття рішень інноваційного технопарку. У статті використовується дифузійна модель, заснована на системі квазілінійних рівнянь параболічного типу [1], [2], [4].

Постановка завдання. В зв'язку із викладеним в [4], система підтримки прийняття рішень діяльності інноваційних технопарків має містити набір моделей, що забезпечують зв'язок між чотирма основними учасниками технопарку: Координатором, Архітектором, Оператором та Контролером. Для реалізації в СППР модель повинна містити чітке визначення всіх можливих змінних та алгоритмів процесу моделювання прийняття рішень щодо управління технопарком. Основним завданням в такому випадку є підтримка прийняття рішень щодо ефективного розподілу венчурного капіталу технопарку між фірмами, що здійснюють інноваційну діяльність (Оператором). Такі моделі мають враховувати динамічну зміну становища фірми на ринку, перспективність проведених досліджень, конкурентну взаємодію між фірмами-інноваторами та ризики функціонування Оператора. Для побудови ефективних алгоритмів моделювання динамічних процесів з високою обчислювальною складністю програмне забезпечення СППР може бути реалізована на базі високопродуктивних систем паралельних обчислень.

Основна частина. В загальному випадку модель СППР може бути представлена у вигляді дворівневої стратифікованої системи що описує взаємодію Координатора і Оператора із зовнішніми впливами Архітектора та Контролера. Схематичне зображення даної системи наведено на рисунку 1.



Рис. 1. Схеми взаємодії учасників технопарку

Для Архітектора основними завданнями є визначення фази економічного циклу на основі теорії довгих хвиль М.Д. Кондратьєва, визначення стану інноваційного ринку для різних галузей, визначення пріоритетних напрямків інноваційної діяльності, критеріїв вибору проектів та їх граничних значень. Залежно від фази економічного циклу Архітектор визначає рекомендації щодо масштабності (m), витратності (v) та ризикованості проектів (r). В такому випадку еталонний проект (P) визначається на множині допустимих значень параметрів $P < m, v, r >$. Для даних властивостей описані множини

лінгвістичних значень $m = \{m_i\}$, $v = \{v_i\}$, $r = \{r_i\}$. Рішення приймається за алгоритмом Мамдані. Далі з множини бізнес-планів, що запропоновані до розгляду обираються конкуруючі фірми-інноватори, між якими і відбувається розподіл венчурного капіталу технопарку. Для кожної фірми визначається $\gamma_{ks}(\hat{t})$ – коефіцієнт конкуренції між фірмами інноваторами за ресурс технопарку.

До функцій Координатора в даному випадку належать такі, як відбір перспективних інноваційних проектів та розподіл між ними фінансових потоків. Координатор має набір правил прийняття рішень щодо вибору проектів для впровадження. Основною метою діяльності координатора є керування Оператором, шляхом поділу фінансових потоків, таким чином, щоб забезпечити ефективне функціонування і максимізувати прибуток технопарку в цілому.

В свою чергу, Оператор освоює фінансові потоки технопарку, виробляє інноваційну продукцію, реалізує її стороннім підприємствам і забезпечує відтворення фінансових потоків та прибутку технопарку.

Контролер виконує порівняння реальних значень індикативних параметрів проектів із граничними значеннями. Його інструментарій підтримки прийняття рішень містить правил прийняття рішень щодо управління ходом виконання проектів на основі контролю поточних результатів. В більшості технопарків функції контролера виконує координатор.

На рівні управління процесом для координатора розглянемо задачу моделювання динаміки вартості продукції інноваційних фірм (технологічних нововведень) в умовах ринкової конкуренції, для управління збільшенням збуту інноваційної продукції технопарку. В основу покладемо модель дифузії інновацій з [1], [4], заснованої на початково-крайовій задачі для системи квазілінійних рівнянь параболічного типу з використанням моделі конкурентної боротьби Лотки–Вольтерра. Для вартості виробленої усіма фірмами інновацій за аналогією з [4] $R(x, t) = \sum_{k=1}^n R^{(k)}(x, t)$ розглянемо логістичну

модель:

$$R_t = v(\alpha_0(t) - R)R + a \sum_{s=1}^m R_{x_s x_s}, \quad (1)$$

$$R_{x_s} \begin{cases} x_s = 0 \\ x_s = 1 \end{cases} = 0, (s = \overline{1, m}), R \Big|_{t=0} = \psi, \quad (2)$$

де $\alpha_0(t) > 0$ – обсяг ринку збуту нових технологій, у грошовому виразі, $a = const > 0$ – коефіцієнт дифузії інновацій (попиту на нововведення), $v = 1/(\hat{\alpha}_0 \tilde{T})$ – коефіцієнт пропорційності, що визначає швидкість насичення попиту, $\hat{\alpha}_0 = \max_{t \in [0, \tilde{T}]} \alpha_0(t)$ – максимальний обсяг попиту на нові технології, $\tilde{T} = const > 0$ – параметр, що визначає період насичення попиту на інновацію, $\psi(x_1, \dots, x_m)$ – початковий розподіл вартості освоєних (придбаних) технологій по області Ω , $0 \leq \psi(x_1, \dots, x_m) < \alpha_0(0)$, $\psi(x_1, \dots, x_m) \not\equiv 0$. Для багатовимірної області $Q_{\hat{T}}$ з межею $\Gamma_{\hat{T}}$ можна сформулювати наступну задачу:

$$R_t = (\alpha_0(\hat{t}) - R)R + \hat{a} \sum_{s=1}^m R_{x_s x_s}, \quad (3)$$

$$R_{x_s} \begin{cases} x_s = 0 \\ x_s = 1 \end{cases} = 0, (s = \overline{1, m}), R \Big|_{\hat{t}=0} = \psi(x), \quad (4)$$

де $\hat{a} = a \hat{\alpha}_0 \tilde{T}$, $\hat{t} = t / (\hat{\alpha}_0 \tilde{T})$, $\hat{t} \in [0, \hat{T}]$, $\hat{T} = \tilde{T} / (\hat{\alpha}_0 \tilde{T})$, $Q_{\hat{T}} = \Omega \times (0, \hat{T})$.

Розщеплення (3), (4) на n задач для $\{R^{(k)}\}$ та заміна змінних дозволяє отримати систему рівнянь типу Лотке–Вольтерра для області Ω розмірністю $m = (n-1)$:

$$Y_t^{(k)} = (\alpha_0(t) - \hat{\alpha}_0 - \exp(\hat{\alpha}_0 t) Y) Y^{(k)} + Y^{(k)} \exp(\hat{\alpha}_0 t) \sum_{\substack{s=1 \\ s \neq k}}^n \gamma_{ks}(t) Y^{(s)} + \hat{a} \sum_{s=1}^m Y_{x_s x_s}^{(k)}, \quad (5)$$

$$Y_{x_s}^{(k)} \Big|_{x_s=0} = 0, \quad (s = \overline{1, m}), \quad Y^{(k)} \Big|_{t=0} = \psi^{(k)}(x). \quad (6)$$

$$Y_t \Big|_{t=0} = -\hat{\alpha}_0 \psi(x), \quad Y_t^{(k)} \Big|_{t=0} = -\hat{\alpha}_0 \psi^{(k)}(x). \quad (7)$$

де $\gamma_{ks}(\hat{t})$ – коефіцієнт конкуренції між фірмами-інноваторами за ресурс технопарку ($\gamma_{ks}(\hat{t}) = -\gamma_{sk}(\hat{t})$, $\gamma_{ks}(\hat{t}) \in [-1; 1]$), $Y(x, t) = \sum_{k=1}^n Y^{(k)}(x, t)$, $\psi = \sum_{k=1}^n \psi^{(k)}$, $0 \leq \psi^{(k)}(x_1, \dots, x_m) < \alpha_0(0)$, $\psi^{(k)}(x_1, \dots, x_m) \neq 0$.

Припустимо, що k -та фірма є домінуючою над (s) : $(k) \succ (s)$, за умови $0 < \gamma_{ks}(\hat{t}) \leq 1$. Тобто,

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \max_{x \in \Omega} (Y^{(k)}(x, \hat{t})) > \lim_{t \rightarrow \infty} \max_{x \in \Omega} (Y^{(s)}(x, \hat{t})).$$

В подальшому доцільно розглядати управління координатором k -ої фірми в конкурентному середовищі з іншими фірмами з фіксованими номерами (k) $\gamma_{ks}(u_1(\hat{t}), u_2(\hat{t}), \hat{t}) = -\gamma_{sk}(u_1(\hat{t}), u_2(\hat{t}), \hat{t})$, $(s = \overline{1, n}, s \neq k)$, що залежать від прямих інвестицій в основні фонди (k) -го підприємства $u_1(\hat{t})$ та інвестицій у конкурентоспроможність технопарку за рахунок просування його на ринку $u_2(\hat{t})$ та керування прибутковістю технопарку за рахунок оптимального розподілу інновацій $\alpha_0(u_3(\hat{t}), \hat{t})$.

Для координатора існують наступні сценарії управління процесом розподілу венчурного капіталу:

1. Задача екстенсивного розвитку – збільшення обсягу інноваційних продуктів фірми за рахунок інвестицій в основні фонди та нові проекти.

На просторі $\Sigma_{J_1} = \{N \times U_1\}$ (N – множина натуральних чисел) введемо функціонал $J_1 = (v, u_1)$:

$$u_1^*(\hat{t}) = \arg \max_{u_1(\hat{t}) \in U} J_1^{(k)}(v^{(k)}, u_1) = \arg \max_{u_1(\hat{t}) \in U} (v^{(k)}(u_1, T) / \hat{v}), \quad (8)$$

$$I^{(k)} = R^{(k)}(u(\hat{t})) - u_1(\hat{t}) - Z_0^{(k)}(\Phi^{(k)}) \geq 0, \quad R^{(k)} \leq P^{(k)} = F^{(k)}(\Phi^{(k)}), \quad G^{(k)}(\hat{t}) \in \hat{G},$$

$$u_1(\hat{t}) \geq 0, \quad u_2(\hat{t}) = 0, \quad u_3(\hat{t}) = 0. \quad (9)$$

де $v^{(k)}(u_1, T)$ – кількість проектів k -го підприємства. Обмеження (8) відображає умови, за яких фірма-інноватор стає збитковою.

2. Задача просування на ринку технопарку за рахунок вкладень в інформаційно-рекламну діяльність.

На просторі $\Sigma_{J_3} = \{C_2^1(Q_{\hat{T}}) \times C^{(1)}([0, \hat{T}]) \times U^{(3)}\}$ введемо функціонал $J_3(R^{(k)}, \Phi^{(k)}, u_3)$ та розглянемо задачу:

$$u_3^{(3)*}(\hat{t}) = \arg \max_{u_3(\hat{t}) \in U} J_3^{(k)}(R^{(k)}, \Phi^{(k)}, u_3) = \arg \max_{u_3(\hat{t}) \in U} (\alpha_0(u_3(\hat{t}), \hat{t}) / \hat{\alpha}_0), \quad (10)$$

$$I^{(k)} = R^{(k)}(u(\hat{t})) - u_3(\hat{t}) - Z_0^{(k)}(\Phi^{(k)}) \geq 0, \quad R^{(k)} \leq P^{(k)} = F(\Phi^{(k)}), \quad (11)$$

$$u_1(\hat{t}) = 0, \quad u_2(\hat{t}) = 0, \quad u_3(\hat{t}) \geq 0. \quad (12)$$

Обмеження (12) відображає умови, за яких фірма-інноватор стає збитковою.

3. Комплексна задача оптимального розподілу венчурного капіталу між фірмами. На просторі $\Sigma_J = \{N \times C_2^1(Q_{\hat{T}}) \times C^{(1)}([0, \hat{T}]) \times U_1 \times U_2 \times U_3\}$ введемо критерій якості управління $J^{(k)}(u)$ та сформулюємо задачу управління в загальному вигляді:

$$u^*(\hat{t}) = \arg \max_{u(\hat{t}) \in U} J(v, R, \Phi, u) = \arg \max_{u(\hat{t}) \in U} \left(\sum_{i=1}^3 \sigma_i J_i(u_i(\hat{t})) \right) \quad (13)$$

$$I = R(u(\hat{t})) - \sum_{i=1}^3 \chi(\sigma_i) u_i(\hat{t}) - Z_0(\Phi) \geq 0, \quad R \leq P = F(\Phi), \quad G(\hat{t}) \in \hat{G}, \quad (14)$$

$$(1 - \chi(\sigma_i)) u_i(\hat{t}) = 0, \quad u_i(\hat{t}) \geq 0 \quad (i = \overline{1, 3}), \quad \chi(x) = \begin{cases} 1, & x > 0; \\ 0, & x \leq 0; \end{cases} \quad (15)$$

де $\sigma_i \geq 0$ – вагові множники, що визначаються на рівні архітектор-координатор. Аналіз теоретичних властивостей системи (5)–(7) проведено в [1].

Для перевірки побудованої моделі на прикладах візьмемо систему з трьох конкуруючих фірм-інноваторів, для яких побудуємо явну тришарову різницеву схему типу «ромб»:

$$Y_{i_1..i_n}^{(k)j+1} = \frac{(1 + \tau w_{i_1..i_n}^{(k)j})}{(1 - \tau w_{i_1..i_n}^{(k)j})} Y_{i_1..i_n}^{(k)j-1} + 2\tau \left(\bar{\alpha}^j - 2\hat{a} \sum_{s=1}^m h_s^{-2} + \sum_{\substack{s=1 \\ s \neq k}}^m \bar{\gamma}_{ks}^{-j} Y_{i_1..i_n}^{(s)j} - \right. \\ \left. - \bar{e}^j Y_{i_1..i_n}^j - w_{i_1..i_n}^{(k)j} \right) \frac{Y_{i_1..i_n}^{(k)j}}{(1 - \tau w_{i_1..i_n}^{(k)j})} + \frac{2\hat{a}\tau}{(1 - \tau w_{i_1..i_n}^{(k)j})} \sum_{s=1}^m (Y_{i_1..i_s+1..i_n}^{(k)j} + Y_{i_1..i_s-1..i_n}^{(k)j}) h_s^{-2},$$

$$Y_{i_1..i_n}^{(k)j} \Big|_{i_s=0} = (4/3) Y_{i_1..i_n}^{(k)j} \Big|_{i_s=1} - (1/3) Y_{i_1..i_n}^{(k)j} \Big|_{i_s=2},$$

$$Y_{i_1..i_n}^{(k)j} \Big|_{i_s=N_s} = (4/3) Y_{i_1..i_n}^{(k)j} \Big|_{i_s=N_s-1} - (1/3) Y_{i_1..i_n}^{(k)j} \Big|_{i_s=N_s-2},$$

$$Y_{i_1..i_n}^{(k)0} = \psi_{i_1..i_n}^{(k)}, \quad Y_{i_1..i_n}^{(k)1} = (1 - \tau \hat{\alpha}_0) \psi_{i_1..i_n}^{(k)}.$$

В (16), (17) використано позначення:

$$\bar{\alpha}^j = \tau^{-1} \int_{t_j-0.5}^{t_{j+0.5}} (\alpha_0(t) - \hat{\alpha}_0) dt, \quad \bar{\gamma}_{ks}^{-j} = \tau^{-1} \int_{t_j-0.5}^{t_{j+0.5}} \exp(\hat{\alpha}_0 t) \gamma_{ks}(t) dt,$$

$$I^{(k)} = R^{(k)}(u(\hat{t})) - u_3(\hat{t}) - Z_0^{(k)}(\Phi^{(k)}) \geq 0, \quad R^{(k)} \leq P^{(k)} = F(\Phi^{(k)}),$$

$$\bar{e}^j = (1 - \exp(-\hat{\alpha}_0 \tau)) \exp(\hat{\alpha}_0(t_j + 0.5\tau)) / (\tau \hat{\alpha}_0),$$

$$w_{i_1..i_n}^j = \bar{\alpha}^j - \bar{e}^j Y_{i_1..i_n}^j - 2\hat{a} \sum_{s=1}^m h_s^{-2}, \quad w_{i_1..i_n}^{(k)j} = \bar{\alpha}^j + \sum_{\substack{s=1 \\ s \neq k}}^m \bar{\gamma}_{ks}^{-j} Y_{i_1..i_n}^{(s)j} - \bar{e}^j Y_{i_1..i_n}^j - 2\hat{a} \sum_{s=1}^m h_s^{-2}.$$

Чисельне моделювання процесу оптимального управління для трьох підприємств-інноваторів (для даних табл. 1) дозволило отримати результати, що наведені на рисунку 2.

Таблиця 1

| n | γ_{12} | γ_{13} | γ_{23} | a | α_0 | $x_1^{(1)}$ | $x_2^{(1)}$ | $x_1^{(2)}$ | $x_2^{(1)}$ | $x_1^{(3)}$ | $x_2^{(3)}$ |
|-----|---------------|---------------|---------------|-----|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 3 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0,5 | 0,866 |

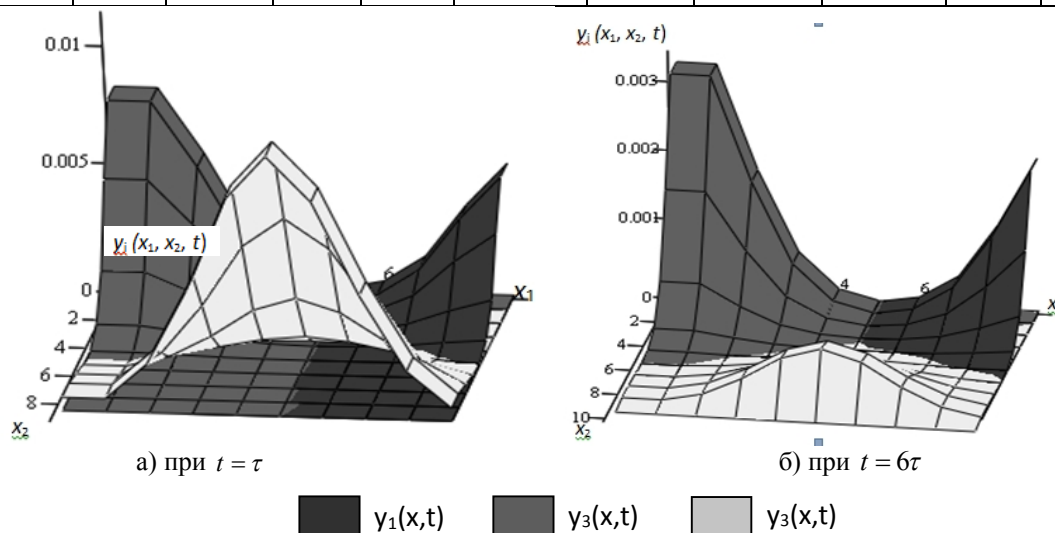


Рис. 2. Просторова поведінка конкуруючих фірм-інноваторів $y^{(1)}(x_1, x_2, t^*)$, $y^{(2)}(x_1, x_2, t_i)$, $y^{(3)}(x_1, x_2, t_i)$

Параметри $x_i^{(k)}$ в таблиці 1 – це координати рівновіддалених центрів інновацій в області $\Omega = \{x | 0 \leq x_s \leq 1, s = \overline{1,2}\}$. Початкові та граничні умови: $\psi_1^{(k)}(t) = 0$, $\psi_2^{(k)}(t) = 0$, $\psi_3^{(k)}(x) = 0$.

Для чисельного моделювання процесу оптимального управління технопарком важливою є стратегія розвитку, яка приймається на рівні координатора. На рисунку 2 показано алгоритм роботи системи підтримки прийняття рішень (СППР) з оптимального управління інвестиціями. В основу алгоритму покладено поетапне циклічне рішення задач оптимального управління, що визначені в даній статті.

Формально, стратегія розвитку технопарку і розподілу венчурного капіталу визначається завданням вагових множників для функціоналу (8), (10), (13). Таким чином даний процес є багатоітераційним, що накладає певні вимоги на інструментарій реалізації алгоритму.

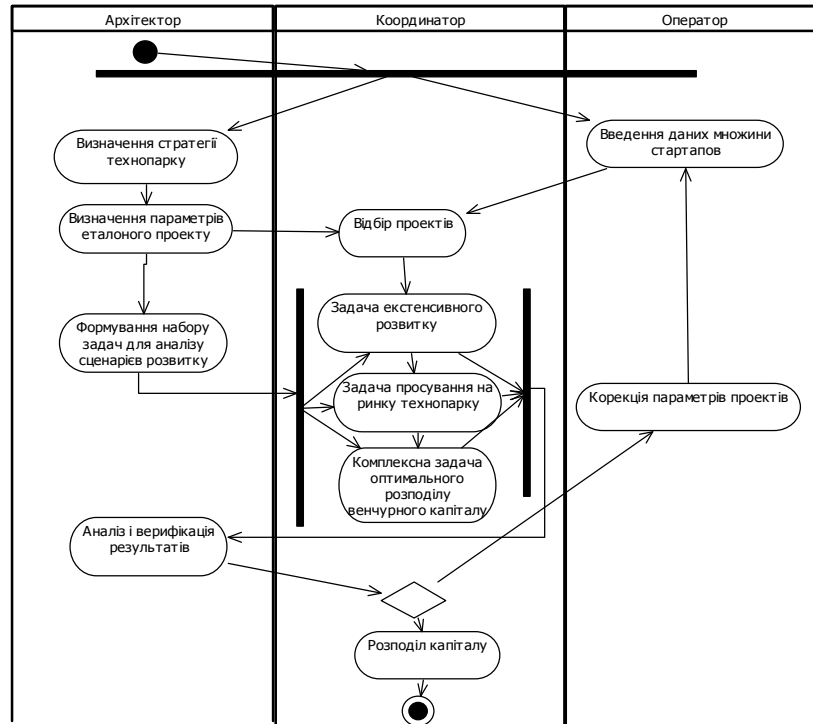


Рис. 3. Діаграма активності СПДР технопарку

З метою підвищення ефективності виконання розрахунків для реалізації різницевої схеми моделювання взаємодії трьох конкуруючих фірм-інноваторів було реалізовано алгоритм розпаралелювання обчислювального процесу за алгоритмом циклічної редукції із використанням бібліотеки OpenMP. При паралельній реалізації алгоритму вхідна інформація розрізається на «вертикальні» смуги і розподіляється по вузлах кластера. На процесор з номером m , $1 \leq m \leq p$ завантажуються елементи вихідних масивів розмірністю $N \times m$ зі значеннями індексів $[N \setminus p](m-1) + 1 \leq i \leq [N \setminus p]m$. Максимальний обсяг переданої інформації між вузлами на поточному рівні (граничні ряди масивів) становить m , тоді загальний обсяг переданих даних складе $V = 2N \times l$, де l - показник розмірності вхідних даних.

Аналіз кількості арифметичних дій паралельного алгоритму і значення параметра $k = t_0 / t_a$, де t_0, t_a - чисельні часові характеристики продуктивності процесора і каналів зв'язку, відповідно, t_0 - час передачі одного мегабайта даних між двома вузлами, t_a - характерний час виконання усередненої арифметичної операції, показали, що часові витрати на передачу даних багато менше, ніж на виконання обчислювальних операцій, що і пояснює економічність паралельного рішення. На розмірності вхідних даних $2^5 - 2^{12}$ ефективність алгоритму розв'язку (рис. 3) є прийнятною (0,5-0,95), що говорить про доцільність його використання.

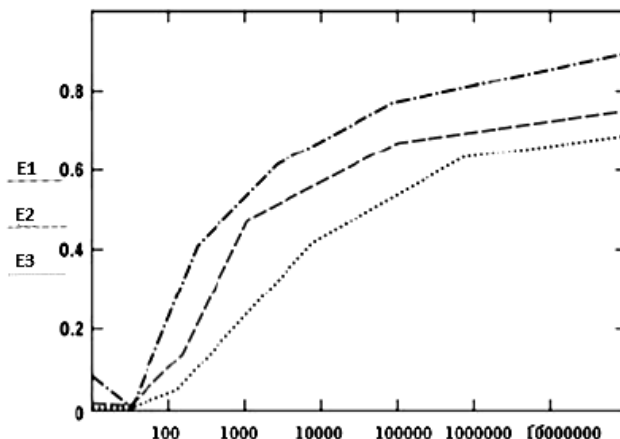


Рис. 4. Графіки ефективності чисельного алгоритму
(E1 – ефективність послідовного алгоритму, E2 – із виділенням окремих потоків розрахунків для окремих ядер, E3 – на двох процесорах)

Результати порівняння паралельного та послідовного алгоритмів для (Pentium G 680 3 ГГц (2 ядра), 4 ГБайт, HDD 500 ГБайт, пропускна здатність мережі до 100 Мбит/с) та двопроцесорного кластера організованого у середовище віртуальних машин Windows Azure (конфігурація Small 1 процесор, 1,66 ГГц, 3,5 ГБайт, HDD до 1 ТБайт, пропускна здатність мережі до 100 Мбит/с) наведено на рисунку 4. За результатами моделювання можна зробити висновок, що найбільш ефективною технологією (за співвідношенням швидкодія/витрачені ресурси) в сучасних умовах є виконання даних алгоритмів на основі багатоядерних ПЕОМ.

Висновки. Представлені в роботі результати розрахунків тестових завдань конкурентної взаємодії фірм-інноваторів в боротьбі за венчурні ресурси технопарку, отримані на основі системи Лотке–Вольтерра із використанням обчислювального алгоритму явного типу, дозволяють зробити висновок про можливість застосування розробленого підходу до моделювання конкурентної взаємодії фірми на однорідному ринковому середовищі. Продемонстровано можливість високоефективної реалізації чисельного методу пошуку розв’язків задач управління із використанням сучасних обчислювальних систем. Завдяки запровадженню алгоритмів розпаралелювання обчислювального процесу, використання різницевої сітки з метою динамічного опису досліджуваних процесів не призводить до значних витрат часу на розрахунок, що є характерним для параболічних систем і тому дана модель може бути використана в СППР технопарку з метою підвищення ступенів обґрунтованості рішень.

Список використаної літератури:

1. Акименко В.В. Нелинейное моделирование многомерного процесса диффузии инноваций на основе метода расщепления / В.В. Акименко, И.И. Сугоняк // Кибернетика и системный анализ. – 2008. – № 4. – С. 120–133.
2. Korman Ph. Dynamics of the Lotka-Volterra systems with diffusion // *Applicable Analysis*. – 1992. – V. 44, № 3–4. – Pp. 191–207.
3. Акименко В.В. Модель оптимального управления нелинейным процессом фильтрации для задачи подтопления территорий / В.В. Акименко, С.А. Митрохин // Проблемы управления и информатики. – 2010. – № 4. – С. 73–89.
4. Ефименко А.А. Модель оптимального управления фондами и конкурентоспособностью информационно-коммуникационного предприятия / В.В. Акименко, А.А. Ефименко // Кибернетика и системный анализ. – 2012. – № 5. – С. 94–111.
5. *Chetverushkin B.N.* High-performance computing: Fundamental problems in industrial application / In *Parallel, distributed and grid computing for engineering*. Stirlingshire: Saxe-Coburg Publications. – 2009. – Pp. 369–388.
6. Самарский А.А. Теория разностных схем / А.А. Самарский. – М. : Наука, 1977.

СУГОНЯК Інна Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- багатокритеріальний аналіз в процесі прийняття рішень;
- проектування систем підтримки прийняття рішень.

E-mail: isygon@mail.ru

Стаття надійшла до редакції 05.09.2013