



УДК 519.21:681.142

## УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ВІРТУАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ЕВОЛЮЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ



Л.А. Тимашова, *докт. техн. наук,*  
Р.В. Резниченко

**Постановка проблеми.** Віртуальне підприємство (ВП) являє собою динамічну, відкриту бізнес-систему, засновану на засадах формування єдиного інформаційного простору юридично незалежними підприємствами з метою спільного використання своїх технологічних ресурсів для реалізації всіх етапів робіт з виконання проекту.

На основі оперативної координації використання ресурсів підприємства здатні швидко і з мінімальними витратами виробляти кінцевий продукт або послугу. Для ВП характерні такі властивості, як децентралізованість, розподіленість і наявність механізмів гнучкого формування нових організаційних структур, здатність швидко адаптуватися до мінливих вимог ринку, саморегулювання і самоорганізації, координації і взаємодії на основі погодженого з партнерами управління бізнес-процесами і ресурсами.

Основна мета ВП – швидке реагування на ринкові вимоги і максимізація ступеня використання ресурсів підприємств. Під час побудови коопераційної стратегії ведення бізнесу підприємства неминуче стикаються не тільки з новими можливостями, а й з новими потенційними небезпеками. Облік факторів ризику має свої особливості на всіх етапах життєвого циклу. Стосовно фаз прийняття рішення для віртуального підприємства і вибору партнерів, на стадіях планування робіт і їхньої реалізації найбільш актуальними є питання організаційних ризиків. До основних шансів (преваг) кооперації ВП належать такі: можливість швидкого освоєння нових ринків; скорочення витрат; трансферт технологій і ноу-хау; додаткові інвестиційні можливості; можливості поділу ризиків серед партнерів ВП. Основні ризики (недоліки) кооперації – збільшення залежності від партнерів по бізнесу, ризик втрати ноу-

хау і конкурентних позицій. Учасники віртуального підприємства виконують різні функції, мають різні: компетенцію, кількість інвестицій і ризиків, тому і прибуток кожного з партнерів має бути відповідним. Справедливий механізм розподілу прибутку повинен забезпечувати не тільки вигоду для кожного партнера, а й можливість отримати більше переваг на основі більшого внеску. Збільшенню прибутку ВП сприяє ефективне управління ризиками. Ефективний підхід для вимірювання й управління ризиками є серйозною проблемою для ВП.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема дослідження й розробки моделей і методів управління ризиками ВП, незважаючи на появу ряду важливих робіт, спрямованих на застосування кількісних методів дослідження й оцінювання ризиків управлінських рішень підприємства, нині далека від вирішення. Багато питань, що стосуються побудови моделей управління ризиками ВП, які враховують багатоваріантність і випадковий характер параметрів зовнішнього середовища і виробничої системи, незважаючи на свою актуальність і інтерес у практичному й теоретичному плані, не вивчені. Це і зумовило вибір пропонованого дослідження.

Для забезпечення більш наукових і ефективних способів управління ризиками ВП розроблені різні моделі й алгоритми [1, с. 63]. Так, J.Ma and Q. Zhang аналізують усі види ризиків організації ВП [2, р. 539]; Huang, K. введена нечітка синтетична еволюційна модель для оцінювання еволюційних ризиків ВП, що зосереджена на проектному режимі і невизначених характеристиках ВП, W. H. Ip, M. Huang, K. L. [3, р. 387]; Yung, and D. Wang пропонують модель з урахуванням ризиків вибору партнера, що розглядає

зведення до мінімуму ризику вибору партнерів на основі правил генетичного алгоритму, з урахуванням досвіду календарного планування [4, р. 84]; X. Sun, M. Huang, and X. Wang досліджують конструкційні розподілення рішень DDM (distributed decision making) моделі для зменшення ризиків ВП, яка зосереджується на ситуації в команді, де існують вимушені стосунки між партнерами; F.-Q. Lu, M. Huang, W.-K. Ching, X.-W. Wang, and X.-L. Sun надали DDM модель ВП управління ризиками, яка має два рівні, а саме: топ-модель і базову модель, що описують процеси прийняття рішень між власниками і партнерами [3, р. 387]. У результаті був розроблений підхід для вирішення задачі оптимізації на основі еволюційного алгоритму оптимізації рою частинок. Таким чином, у сучасній економічній літературі існують роботи, в яких відображені питання оцінювання й управління ризиками у підприємницькій діяльності. Проте наукову розробленість цих праць у цілому не можна визнати задовільною, тому виникла необхідність більш глибокого дослідження й узагальнення зарубіжного і вітчизняного досвіду.

**Постановка завдання.** Еволюційні алгоритми успішно використовуються для завдань функціональної оптимізації і можуть бути описані математичною мовою. Для ефективної реалізації моделі оптимізації управління ризиками ВП використовуються методи ройового інтелекту, а саме метод рою частинок (Particle Swarm Optimization (далі – PSO)) [3, р. 387]. Алгоритм рою частинок з'явився відносно недавно, проте вже запропоновано цілий ряд його модифікацій, і нові роботи на цю тему продовжують публікуватися. Можна виділити кілька шляхів поліпшення класичного алгоритму: з'єднання його з іншими алгоритмами оптимізації, зменшення ймовірності передчасної збіжності шляхом зміни характеристик руху частинок, а також динамічна зміна параметрів алгоритму під час оптимізації [4, р. 84]. Прямо PSO використовує аналогію одновидової популяції і відповідне визначення динаміки часток і часток мережі інформації, взаємодії топології для відображення соціальної еволюції в популяції. Проте ситуація в природі набагато складніша, оскільки в біологічних популяціях існує безперервна взаємодія між особинами одного виду, а також зустрічей і взаємодії різних видів з іншими видами. Тому необхідно розширити одну популяцію PSO для взаємодії мультироїв і побудувати модель ієрархічної інформаційної мережі з підвищенням динаміки частинок [2, р. 539].

**Метою роботи є побудова** моделі оптимізації управління ризиками ВП на основі моделі розподілу прийняття рішень. Модель оптимізації має два рівні: топ-модель і базової моделі, які описують процеси прийняття рішень для ВП і його партнерів. Для

ефективної реалізації запропонованої моделі застосовуються два методи оптимізації з використанням технологій штучного інтелекту, відомих як еволюційні алгоритми (ЕА) і ройовий інтелект (PI). Розглядається задача управління ризиками для одного еволюційного алгоритму і стану двох сучасних алгоритмів ройового інтелекту. Алгоритм будується для віртуального підприємства і його партнерів. Парадигма моделювання поведінки симбіотичних коеволуції в природі отримує оптимальне рішення для ВП. Проблема управління ризиками з використанням цих алгоритмів сприяє точності оптимізації і розрахунку надійності.

**Модель управління ризиками віртуального підприємства.** Для оцінювання ефективності запропонованих методів, використовуємо дворівневу модель управління ризиками запропоновану F.-Q. Lu, M. Huang, W.-K. Ching, X.-W. Wang and X.-L. Sun [3, р. 387]. Цю модель можна описати як дворівневий розподіл прийняття рішень (РПР). У верхньому рівні, власник ВП приймає рішення щодо розподілу бюджету (розподілу інвестиційних ризиків) між членами ВП. Отже,  $I = (I_0, I_1, \dots, I_n)$ , де  $I_0$  означає бюджет власника й  $I_i (i = 1, 2, \dots, n)$  бюджет для партнера  $i$ . Тоді на вищому рівні метою управління ризиками ВП є визначення оптимального бюджету для кожного члена ВП з мінімізацією загального рівня ризиків ВП [4, р. 84]. Верхній рівень моделі може бути сформульований у вигляді безперервного завдання оптимізації:

$$\min_I F_T(I) = \sum_{i=0}^n w_i R_i(I_i) \quad (1.1)$$

$$\sum_{i=0}^n I_i \leq I_{\max}, \quad (1.2)$$

$$R_i(I_i) \leq R_{\max}, \quad (1.3)$$

де  $R_i(I_i)$  – рівень ризику  $i$ -го члена в умовах ризику інвестиційних витрат;

$I_{\max}$  – максимальний бюджет інвестицій;

$R_{\max}$  – максимальний рівень ризику для кожного члена ВП.

У базовому рівні, партнери ВП приймають рішення відповідно до інструкції верхнього рівня (тобто згідно з бюджетом партнерів). У разі управління ризиками базового рівня обираються оптимальні параметри управління ризиками  $A_i = (a_1^i, a_2^i, \dots, a_m^i)$  для кожного партнера  $i (i = 1, 2, \dots, n)$ , щоб звести до мінімуму рівень ризику щодо виділеного бюджету  $I_i$ , де,  $m$  – число факторів ризику, які впливають на безпеку кожного з партнерів [2, р. 539]. Тоді моделі базового рівня формуються як задача дискретної оптимізації:

$$\min_A F_B(A) = \sum_{i=1}^n w_i R_i(A_i | I_i),$$

$$\sum_{j=1}^m C_j^i(a_j^i) \leq I_i, \quad (1.4)$$

$$a_j^i \in \{0,1,2,\dots, W\},$$

де  $R_i(A_i|I_i)$  – рівень ризику  $i$ -го партнера на вищому рівні в умовах ризику контролю дій  $A_i$  і інвестиційного бюджету  $I_i, C_j^i(a_j^i)$ , який представляє вартість партнера  $i$ , під дією управління ризиками  $a_j^i$ , для фактора ризику  $j$ , і  $W$  позначає число доступних дій для кожного фактора ризику кожного з партнерів.

Для реалізації запропонованої моделі розглядаємо методи оптимізації з використанням технологій штучного інтелекту, відомі як еволюційні алгоритми [4, р. 84], які є напрямом у штучному інтелекті (розділ еволюційного моделювання), який використовує і моделює біологічну еволюцію. Розрізняють такі алгоритми: генетичні; еволюційне програмування; еволюційні стратегії; системи класифікаторів; генетичне програмування. Для розгляду моделі оптимізації управління ризиками ВП скористаємося генетичним алгоритмом. Генетичний алгоритм як евристичний алгоритм пошуку використовується для вирішення завдань оптимізації і моделювання шляхом випадкового підбору, комбінування і варіації параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію [2, р. 539].

Завдання формалізується таким чином, щоб його рішення могло бути закодоване у вигляді вектора («генотипу») генів, де кожен ген може бути бітом, числом або якимось іншим об'єктом. У класичних реалізаціях ГА передбачається, що генотип має фіксовану довжину. Однак існують варіації ГА, вільні від цього обмеження. Для ефективної реалізації моделі оптимізації управління ризиками ВП також розглядається метод рою частинок [4, р. 84].

У методі оптимізації PSO рішеннями є частинки, кожна характеризується: координатами її в просторі пошуку; вектором швидкості; пам'яттю частинки про найкращу, за значенням цільової функції, позицію, знайдену частинкою за весь час пошуку; пам'яттю частинки про найкращу, за цільовою функцією, позицію, знайдену групою, в яку входить частинка [4, р. 84]. Використовуючи ці характеристики, частинки переміщуються, підкоряючись певним законам, за пошуком простору, здійснюючи пошук точки глобального оптимуму цільової функції [2, р. 539].

У математичних термінах  $i$ -а частинка зображується у вигляді  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$  в  $D$ -мірному просторі, де  $x_d \in [l_d, u_d]$ ,  $d \in [1, D]$  і  $l_d, u_d$  є нижня і верхня оцінки  $d$ -х вимірів. Швидкість частинки  $i$  зображена як  $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$ , щоб співпасти з максимальною швидкістю  $V_{\max}$ , яка задається користувачем. У

кожному кроці часу  $t$ , частинки маніпулюють згідно з рівняннями:

$$v_{id}(t) = \chi(v_{id}(t-1) + R_1c_1(p_{id} - x_{id}(t-1)) + R_2c_2(p_{gd} - x_{id}(t-1))),$$

$$x_{id}(t) = x_{id}(t-1) + v_{id}(t), \quad (1.5)$$

де  $R_1$  і  $R_2$  – випадкові значення між 0 і 1;

$C_1$  і  $C_2$  – ставки, які контролюють, наскільки далеко частинки будуть рухатися в одній ітерації, і визначають що є кращою позицією для  $i$ -ї частинки;

$p_{gd}$  – краща позиція будь-якої частинки в її околиці;

$x$  – звуження факторів, визначається за формулою

$$x = \frac{2}{\left| 2 - \phi - \sqrt{\phi^2 - 4\phi} \right|}, \quad (1.6)$$

де  $\phi = c_1 + c_2, \phi > 4$ .

Такий підхід гарантує збіжність алгоритму без необхідності явно контролювати швидкість частинок.

Також розглядається модель оптимізації мультирою (Multi-Swarm Optimizer (далі – PS<sup>2</sup>O)), що об'єднує два прості рівні ієрархічного алгоритму рою оптимізації і канонічний алгоритм рою частинок [3, р. 387].

Ієрархічний алгоритм рою частинок (Hierarchical Swarm Optimization) уміщує ієрархічні багаторівневі системи, в яких агент може безпосередньо бути роєм інших агентів. Кожен рівень мультиагентної системи складається з кількох роїв агентів. Кожен рій рівня  $n-1$  агентів об'єднуються в рівні- $n$  агента. Рівень- $n$  позначає поведінку і виходить з організації 1-го рівня до  $n$ . Будь-який агент на різному рівні є компонентом даного рою у своєму власному рівні і підсистемою, розкладеною в рій іншими агентами, на прилеглих низьких рівнях [2, р. 539].

У методі рою частинок PS<sup>2</sup>O взаємодія відбувається не тільки між частинками всередині кожного рою, а й між роями. Отже, обмін інформацією за ієрархічною топологією здійснюється з двох рівнів (тобто на рівні потенційного рішення і рівнів роювого рішення). Для ієрархічної топології використовуємо моделі кільця і зірок (можливе також використання моделей двомірних і тривимірних ґрат, гіперкуба). На верхньому рівні чотири зграї пов'язані кільцем, де кожний рій має чотири окремі частинки на нижньому рівні, структуровані як зірки. Обидва рівні зображені структурою кілець [3, р. 387].

У математичних термінах, модель мультирою визначається як триплет  $(P, T, C)$  [2, р. 539], де  $P = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$  являє собою набір роїв  $M$ , і кожний рій складається з набору членів рою

$$S_k = \{X_1^k, X_2^k, \dots, X_N^k\},$$

де  $N$  – кількість особин;

$T$  – являє собою ієрархічну топологію мультирою;

$C$  – посилення контролю низької динаміки частинок, які можуть бути сформульовані як:

$$\begin{aligned} v_{id}^k(t) &= \chi(v_{id}^k(t-1) + R_1 c_1 (p_{id}^k - x_{id}^k(t-1)) + \\ &+ R_2 c_2 (p_{gd}^k - x_{id}^k(t-1)) + R_3 c_3 (p_{gd}^0 - x_{id}^k(t-1))), \\ x_{id}^k(t) &= x_{id}^k(t-1) + v_{id}^k(t), \end{aligned} \quad (1.7)$$

де  $x_{id}^k$  показує позицію  $i$ -ї частинки  $k$ -го рою;

$p_{id}^k$  – найкраща позиція розташувань знайдених

$x_{id}^k$ ;  $p_{gd}^k$  – найкраща позиція з боку сусідів у середині рою;

$k, p_{gd}^0$  – найкраща позиція в околиці інших зграй рою  $k$  ( $\theta$  є індексом рою, якому належить найкраща позиція);

$C_1$  – індивідуальне значення ставки;

$C_2$  – ставка соціального значення між частинками кожної зграї;

$C_3$  – ставка соціального значення між різними зграями;

$R_1, R_2, R_3 \in \mathfrak{R}^d$  – випадкові вектори, рівномірно розподілені в діапазоні  $[0,1]$ .

Отже, звуження фактора  $\chi$  розраховується за формулою (1.6).

### Висновки

За результатами аналізу розроблена модель оптимізації для мінімізації ризиків віртуального підприємства на основі еволюційних алгоритмів і методів ройового інтелекту. Дворівнева модель управління ризиками була застосована для опису процесів прийняття рішень власника і партнерів. Ця модель відтворює ситуацію, коли власник виділяє бюджет кожному члену ВП з метою мінімізації рівня ризиків.

Проведено порівняльне дослідження проблеми управління ризиками для ВП на прикладі трьох еволюційних алгоритмів: PS<sup>2</sup>O, PSO і GA. При цьому

доведено, що алгоритм PS<sup>2</sup>O, з точки зору оптимізації, показує найкращі результати з трьох алгоритмів. Тобто цей алгоритм з ієрархічною топологією взаємодії може використовуватися в популяції в цілому. Водночас розширення динамічного оновлення значно прискорює мультирій і сходиться до глобального оптимуму.

Подальше вивчення проблеми управління ризиками віртуального підприємства має здійснюватися в плані дослідження принципів, яких слід дотримуватися в процесі розподілу прибутку всередині цього підприємства. З огляду на це буде запропонована модель розподілу прибутку, а також кількісний опис її дії, розглядатимуться нечіткі методи комплексного аналізу з теорії прийняття рішень, які використовуються для розрахунку коефіцієнта ризику в моделі розподілу прибутку.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Задачи мониторинга и управления бизнес-процессами виртуального предприятия: материалы XVI Міжнар. конф. з автоматичного управління «Автоматика 2007», (Севастополь, 10–14 вересня 2007 р.). Ч. 2. – Севастополь: СМУЯС та П, 2007. – С. 63–64.
2. H. Chen, Y. Zhu, and K. Hu, «Multi-colony bacteria foraging optimization with cell-to-cell communication for RFID network planning», Applied Soft Computing Journal, vol. 10, no. 2, pp. 539–547, 2010.
3. F.-Q. Lu, M. Huang, W.-K. Ching, X.-W. Wang, and X.-L. Sun, «Multi-swarm particle optimization based risk management model for virtual enterprise», in Proceedings of the 1<sup>st</sup> ACM/SIGEVO Summit on Genetic and Evolutionary Computation (GEC '09), pp. 387–392, Shanghai, China, June 2009.
4. Ma Wen-bin, Tang De-shan, and Lu Lin, The solution analysis on profit allocation within technology alliance of enterprises (in chinese)(Periodical style), Science and Technology Management Research, Vol.26, no.4, PP. 83–85, 2006.
5. Модели принятия решений при создании виртуальных предприятий: зб. тез Міжнар. наук. конф. «Прийняття рішень в умовах невизначеності» / Тимашова Л.А. // Abstracts. International Conference «Problems of Decision Making Under Uncertainties (PDMU-2008)», (Київ-Рівне, 12–17 травня 2008 р.). – Рівне: Редакц.–вид. центр Нац. ун-ту водного господарства та природокористування, 2008 – С. 203–205.