



УДК 004.33(035).

**Ляхно Валерій Анатолійович**

Д.т.н., професор, зав. каф. комп'ютерних систем і мереж, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна  
OrcID 0000-0001-9695-4543  
Vals21@ukr.net

**Малюков Володимир Павлович,**

Д. ф.-м. н., доцент, професор каф. комп'ютерних систем і мереж, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна  
OrcID 0000-0002-7533-1555  
volod.malyukov@gmail.com

**Плиська Любов Дмитрівна**

аспірантка кафедри комп'ютерних систем і мереж, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна  
OrcID 0000- 0002-6383-7233  
luba.pliska@gmail.com

## МОДЕЛЬ СТРАТЕГІЙ ІНВЕСТИВАННЯ В СИСТЕМИ КІБЕРБЕЗПЕКИ СИТУАЦІЙНИХ ЦЕНТРІВ ТРАНСПОРТУ

**Анотація.** Вирішено актуальну задачу знаходження оптимальної стратегії управління процедурою взаємного фінансового інвестування в ситуаційний центр з кібербезпеки на транспорті. Метою роботи є розробка моделі для системи підтримки прийняття рішень по безперервному взаємному інвестуванню в ситуаційний центр з кібербезпеки, що відрізняється від існуючих рішень білінійної диференціальної гри якості з декількома термінальними поверхнями. Для досягнення мети був використаний дискретно-апроксимаційний метод вирішення. Для досягнення мети був використаний дискретно-апроксимаційний метод вирішення білінійної диференціальної гри якості з залежними рухами. Застосування даного методу в розробленій системі підтримки прийняття рішень, на відміну від існуючих, дає конкретні рекомендації при виборі управлінських рішень в інвестиційному процесі. Запропонована модель дає конкретні рекомендації при виборі стратегій в інвестиційному процесі побудови захищеного ситуаційного центру. В ході обчислювального експерименту розглянуто новий клас білінійних диференціальних ігор, який дозволив адекватно описати процес інвестування в засоби КрБ ситуаційних центрів транспорту в Казахстані і Україні. Вперше запропоновано модель, що описує процес взаємного інвестування, засновану на рішенні білінійних рівнянь і диференціальної гри якості з декількома термінальними поверхнями. Розглянуто особливості диференціальної гри на прикладі взаємного інвестування в засоби кібербезпеки ситуаційного центру транспорту. При цьому права частина системи диференціальних рівнянь представлена у вигляді білінійних функцій з довільними коефіцієнтами. Модель дозволяє спрогнозувати результати інвестування і знайти стратегії управління інвестиційним процесом в системі захисту і кібербезпеки ситуаційного центру транспорту.

**Ключові слова:** система підтримки прийняття рішень; модель; білінійні функції; взаємне інвестування; кібербезпека; ситуаційний центр транспорту.

### 1. ВСТУП

Сьогодні багато проектів в сфері завдань управління на транспорті розвиваються в напрямку створення великих ситуаційних центрів (СЦ), які забезпечують вирішення специфічних завдань. До подібних завдань відносяться: моніторинг та оперативне



управління рухом, оперативне реагування на поточну ситуацію, підсистеми інформування учасників транспортних процесів, захист інформаційно-комунікаційних систем транспорту та ін.

Інвестування в інноваційні проекти, наприклад, у сфері кібербезпеки (КрБ) і захисту інформації, характеризуються високим ступенем невизначеності та ризиком. В [1] відзначається, що багато інвесторів в секторі кібербезпеки стикаються з хаотичністю і невизначеністю при виборі ефективної інвестиційної стратегії і способу управління ризиками [2]. Багато підприємств і компаній, що займаються обслуговуванням критично важливих комп'ютерних систем (КВКС), зокрема, у транспорті, витрачаючи більшу кількість коштів на системи захисту інформації (СЗІ) та КрБ, не є певними, що обрана стратегія інвестування робить інфраструктуру інформаційно-комунікаційних систем реально безпечною.

Останнє, зокрема, пов'язано з нестачею моделей, що застосовуються на практиці, які враховують способи знаходження багатоваріантних стратегій у взаємному фінансовому інвестуванні об'єктів КрБ [3, 4]. Подібні проблеми виникали і при виборі стратегій взаємного інвестування в СЦ по КрБ Казахстану, України та ін., держав, які активно займаються розвитком систем захисту КВКС. У зв'язку з цим, є актуальною розробка нових моделей для інтелектуалізованих комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень (СППР), що дозволяють адекватно описувати і оцінювати інвестиційні стратегії в КрБ КВКС.

**Постановка проблеми.** Розглядається модель для системи підтримки прийняття рішень по безперервному взаємному інвестуванню в засоби КрБ СЦ транспорту. Модель базується на рішенні білінійної диференціальної гри якості з двома термінальними поверхнями. Математична постановка: є два гравці, які керують динамічною системою, що задається системою білінійних диференціальних рівнянь з залежними рухами. Визначаються множини стратегій гравців  $U, V$  відповідно. Задаються дві термінальні поверхні  $M_o, N_o$ . Мета першого гравця привести динамічну систему за допомогою своїх стратегій управління на термінальну поверхню  $M_o$ , як би не діяв другий гравець. Мета другого гравця привести динамічну систему за допомогою своїх стратегій управління на термінальну поверхню  $N_o$ , як би не діяв перший гравець.

Рішення полягає в знаходженні множин початкових станів об'єктів і їх стратегій, які дозволяють об'єктам привести систему на ту, чи іншу поверхню. Рішення таких систем диференціальних рівнянь не може бути знайдено за допомогою формули Коші. Для правих частин диференціальних рівнянь з довільними коефіцієнтами результатів білінійних диференціальних ігор, а саме такі диференціальні рівняння використовуються в нашій моделі, не було отримано.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема ефективного фінансового інвестування в системи КрБ і захисту КВКС є однією з найважливіших в сфері безпеки практично всіх держав [1, 2]. Даній тематиці було присвячено велике число робіт [3, 4]. Однак, слід зазначити, що реальних рекомендацій з розробки стратегій взаємного фінансового інвестування в КрБ КВКС авторами [4-6] не було запропоновано.

Окремим напрямком досліджень в даній області стали роботи, присвячені застосуванню різних експертних систем [7-9] і СППР [10, 11] для вибору раціональних стратегій інвестування в СЗІ та КрБ. Розроблені авторами [12, 13] і [7, 8, 14] підходи при вирішенні цієї проблеми не дозволяють знаходити ефективні рекомендації і стратегії управління інвестиціями в КрБ. Ця обставина обумовлює необхідність



розробки нових моделей для СППР, які дали б можливість знаходити оптимальні стратегії взаємного фінансового інвестування в засоби захисту КВКС. Цього можливо досягти, зокрема, за рахунок застосування методів теорії диференціальних ігор якості з декількома термінальними поверхнями [11, 15].

Слід зазначити, що для таких диференціальних ігор незастосовні викладені в роботах [1, 4, 5] підходи, так як в рамках рішень гравець-противник може застосовувати вимірні управління, а в даній роботі допускаються будь-які управління, в тому числі і незмірні функції.

Як показав аналіз останніх досліджень в цій області, релевантною залишається проблема подальшого розвитку моделей для СППР в задачах безперервного взаємного інвестування в СЗІ та крб КВКС, зокрема, СЦ на транспорті.

**Мета статті.** Розробка моделі для системи підтримки прийняття рішень по безперервному взаємному інвестуванню в ситуаційний центр з кібербезпеки, що відрізняється від існуючих рішенням білінійної диференціальної гри якості з декількома термінальними поверхнями.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Інвестор з країни, де в грошовому обігу перебуває долар США, маючи вільний капітал, намагається вибрати найкращі варіанти його розміщення. Для цього він обирає собі контрагента, тобто об'єкт для вкладення своїх коштів, наприклад, в Казахстані, де в грошовому обігу перебуває тенге. Об'єктом інвестування є СЗІ та КрБ СЦ транспорту, як однієї зі складових критичної інфраструктури держави. Інвестор прагне до збільшення свого капіталу, контрагент - до поліпшення своїх фінансово-економічних показників.

Якщо для інвестора таке завдання виникає регулярно, доцільним є варіант використання СППР в процесі прийняття рішень, пов'язаних з інвестуванням. Формалізацію інвестиційного процесу наведемо в припущенні, що інвестор - інвестиційна компанія, контрагент - фінансова структура в іншій країні. Цією структурою будемо називати фінансову корпорацію.

Інвестиційна компанія, маючи деякі вільні ресурси (свій інвестиційний капітал), збільшує їх в  $\alpha_1$  разів. Потім необхідно вирішити, яку частину цих ресурсів вона буде вкладати в активні операції. Ці операції, полягають в розміщенні ресурсів в інвестиційних проектах корпорації в сфері КрБ СЦ і в погашення заборгованості, що є у компанії до цього моменту часу. Будемо вважати, що те ж саме виробляє корпорація по відношенню до даної інвестиційної компанії. Опис взаємодії компанії і корпорації буде проводитися при наступних припущеннях: 1) інвестиційна компанія управляє фінансовими ресурсами  $z_1$ , що оцінюються в доларах (USD); 2) корпорація управляє фінансовими ресурсами  $z_2$ , що оцінюються в національній валюті (наприклад, тенге (Казахстан) або гривня (Україна)); 3) протягом взаємодії відношення долара до національної валюти (курс долара)  $k_d$  залишається постійним.

Після того, інвестиційна компанія і контрагент визначилися з часткою ресурсів, виділених для взаємних активних операцій, їх взаємодія визначається за допомогою наступної системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} dz_1(t)/dt = & -z_1(t) + \alpha_1(t) \cdot z_1(t) + [(1 - \beta_1(t)) \cdot (a_1(t) + r_1(t)) - 1] \cdot \\ & \cdot u(t) \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t) + [1 - (a_2(t) + r_2(t)) \cdot (1 - \beta_2(t))] \cdot \\ & \cdot v(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot z_2(t) / k_d; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} dz_2(t)/dt = & -z_2(t) + \alpha_2(t) \cdot z_2(t) + [(1 - \beta_2(t)) \cdot (a_2(t) + r_2(t)) - 1] \cdot \\ & \cdot v(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot z_2(t) + [1 - (a_1(t) + r_1(t)) \cdot (1 - \beta_1(t))] \cdot \\ & \cdot u(t) \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t) / k_d. \end{aligned} \quad (2)$$

Таким чином, в момент часу  $t$  величина  $dz_1(t)/dt$  компанії (в доларах – \$) буде дорівнювати сумі наступних величин:  $\alpha_1(t) \cdot z_1(t)$ ; відсотків  $a_1(t) \cdot (1 - \beta_1(t)) \cdot u(t) \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t)$  за фінансові ресурси компанії, що інвестуються  $(1 - \beta_1(t)) \cdot u(t) \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t)$ ;  $r_1(t) \cdot (1 - \beta_1(t)) \cdot u(t) \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t)$  – частка «поверненого» інвестиційного ресурсу  $(1 - \beta_1(t)) \cdot u(t) \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t)$  компанії; «неповернений» актив (інвестиції) –  $\{(1 - r_2(t)) \cdot (1 - \beta_2(t)) / k_d\} \cdot v(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot z_2(t)$  корпорації (в \$);  $\{\beta_2(t) / k_d\} \cdot v(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot z_2(t)$  – погашення заборгованості корпорації перед компанією, з якою (з суми) віднімається: фінансовий ресурс  $z_1(t)$ ; величина  $u(t) \cdot \beta_1(t) \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t)$ , виділена на погашення заборгованості, що склалася у компанії до моменту часу  $t$  перед корпорацією, а також величина  $u(t) \cdot (1 - \beta_1(t)) \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t)$ , виділена для проведення активних операцій компанії (інвестування) в момент часу  $t$ ;  $\{a_2(t) \cdot (1 - \beta_2(t)) / k_d\} \cdot v(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot z_2(t)$  – процентної плати за інвестиційні ресурси  $\{(1 - \beta_2(t)) / k_d\} \cdot v(t) \cdot \alpha_2 \cdot z_2(t)$  корпорації.

Величина  $dz_2(t)/dt$  (національна валюта, тенге, гривня та ін.) в момент часу  $t$  буде дорівнювати сумі наступних доданків величин:  $\alpha_2(t) \cdot z_2(t)$ ; відсотків  $a_2(t) \cdot (1 - \beta_2(t)) \cdot v(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot z_2(t)$  за фінансові ресурси корпорації, що інвестуються  $(1 - \beta_2(t)) \cdot v(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot z_2(t)$ ;  $r_2(t) \cdot (1 - \beta_2(t)) \cdot v(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot z_2(t)$  – частки «поверненого» компанією інвестиційного ресурсу  $(1 - \beta_2(t)) \cdot v(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot z_2(t)$ ; «неповерненого» активу (інвестиції) –  $(1 - r_1(t)) \cdot (1 - \beta_1(t)) \cdot u(t) \cdot k_d \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t)$  корпорацією; величини  $u(t) \cdot \beta_1(t) \cdot k_d \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t)$ , характеризує погашення заборгованості компанією, з якої віднімається величина: фінансовий ресурс  $z_2(t)$ ; сума  $v(t) \cdot \beta_2(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot z_2(t)$ , виділена корпорацією для погашення заборгованості, що склалася у неї перед компанією до моменту часу  $t$ ;  $(1 - \beta_2(t)) \cdot v(t) \cdot \alpha_2(t) \cdot z_2(t)$  – кошти корпорації для проведення активних операцій (інвестування)  $a_1(t) \cdot (1 - \beta_1(t)) \cdot k_d \cdot u(t) \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t)$  – процентна плата за інвестиційні ресурси  $(1 - \beta_1(t)) \cdot u(t) \cdot \alpha_1(t) \cdot z_1(t)$  компанії.

Взаємодія закінчується при виконанні умов:

$$(z_1(t), z_2(t)) \in M_0, \quad (3)$$

$$(z_1(t), z_2(t)) \in N_0. \quad (4)$$

Вважається, що

$$M_0 = \{(z_1, z_2) : (z_1, z_2) \in R_+^2, z_1 > 0, z_2 = 0\}, \quad (5)$$

$$N_0 = \{(z_1, z_2) : (z_1, z_2) \in R_+^2, z_1 = 0, z_2 > 0\}. \quad (6)$$



Розглянуто наступні варіанти: 1) втрата інвестиційних ресурсів корпорації, а інвестиційна компанія примножила свій капітал (наприклад, при зниженні курсу національної валюти); 2) втрата капіталу інвестиційної компанії, а корпорація збільшила свій капітал (наприклад, при неправильному підборі апаратно-програмних СЗІ та КрБ). Якщо не виконуються умови (3) і (4), взаємодія інвесторів триває.

**Визначення.** Чистою стратегією першого гравця-союзника називається функція  $u: T \cdot [0,1] \cdot [0,1] \rightarrow [0,1]$ , ставить станом інформації (позиції)  $(t, (z_1(0), z_2(0)))$  значення  $u(t, (z_1(0), z_2(0)))$ :  $0 \leq u(t, (z_1(0), z_2(0))) \leq 1$ .

Чистою стратегією першого гравця-союзника є функція (правило), що ставить стан інформації в момент  $t$ , величину  $u(t, (z_1(0), z_2(0)))$ , визначальну величину ресурсу (капіталу) першого гравця, яку він виділив для «інвестування» другого гравця, в нашому випадку СЗІ та КрБ СЦ транспорту. Відносно інформованості гравця-супротивника (в рамках схеми позиційної гри) ніяких припущень не робиться, що еквівалентно тому, що гравець противник вибирає своє керуючий вплив  $u(t)$  на підставі будь-якої інформації. Після визначення стратегій в задачі 1, необхідно визначити множину переваги для першого гравця. З огляду на те, що для викладу запропонованого підходу досить обмежитися якісним описом, множина переваги  $W_1$  першого гравця. Вважаємо, що  $W_1$  – множина таких початкових ресурсів  $(z_1(0), z_2(0))$  гравців, які мають властивість: для таких початкових станів існує стратегія першого гравця, яка, для будь-яких реалізацій стратегії другого гравця, «приводить», в один з моментів часу  $t$ , стан системи  $(z_1(t), z_2(t))$  в такому, при якому буде виконуватися умова (3). При цьому, у другого гравця не існує стратегії, яка може «привести» до виконання умови (4), в один з попередніх моментів  $t$ . Стратегія першого гравця, що володіє вказаною властивістю, називається оптимальною.

Припустимо, що для будь-якого моменту часу  $t$ , виконуються умови:  $\alpha_1(t) = \alpha_1$ ;  $\alpha_2(t) = \alpha_2$ ;  $\beta_1(t) = \beta_1$ ;  $\beta_2(t) = \beta_2$ ;  $r_1(t) = r_1$ ;  $r_2(t) = r_2$ . Приймаємо:  $q_1 = (1 - \beta_1) \cdot (a_1 + r_1) - 1$ ;  $q_2 = (1 - \beta_2) \cdot (a_2 + r_2) - 1$ .

Можливі такі випадки: а)  $q_1 \geq 0$ ;  $q_2 \geq 0$ ; б)  $q_1 < 0$ ;  $q_2 < 0$ ; в)  $q_1 > 0$ ;  $q_2 \leq 0$ ; с)  $q_1 \leq 0$ ;  $q_2 > 0$ . Можливі й різні співвідношення інших параметрів взаємодії, наприклад,  $\alpha_1, \alpha_2$ .

Наведемо рішення гри, тобто множини переваги  $W_1$  та оптимальні стратегії першого гравця.

Для випадку а) отримаємо:

$$W_1 = \{z_1 0, z_2 0: (z_1, z_2) \in \text{int } R_+^2, z_2 0 < w^* \cdot z_1 0\} \quad (7)$$

$$\text{Для } w^* = \left\{ \frac{-[q_2 \cdot \alpha_2 + \alpha_2 - q_1 \cdot \alpha_1 - \alpha_1] / [2q_2 \cdot \alpha_2] +}{2\sqrt{\{[q_2 \cdot \alpha_2 + \alpha_2 - q_1 \cdot \alpha_1 - \alpha_1] / 2q_2 \cdot \alpha_2\}^2 + (q_1 \cdot \alpha_1) / (q_2 \cdot \alpha_2)}} \right\}; \quad (8)$$

$u_*(z_1, z_2) = \{1, z_2 < w \cdot z_1, (z_1, z_2) \in \text{int } R_+^2\}$  і не визначено, в протилежному випадку }.

У випадках б) и в) множина  $W_1$  пуста.

У випадку в) і  $\alpha_2 > \alpha_1 + q_1 \cdot \alpha_1$  отримаємо

$$W_1 = \{(z_1(0), z_2(0)): (z_1(0), z_2(0)) \in \text{int } R, z_2(0) < \delta z_1(0)\} \quad (9)$$



де  $\delta = (q_1 \cdot \alpha_1) / (\alpha_2 - q_1 \cdot \alpha_1 - \alpha_1)$ ;

$u_*(z_1, z_2) = \{1, z_2 < \delta \cdot z_1, (z_1, z_2) \in \text{intR}_+^2\}$  і не визначено, в протилежному випадку }.

У випадку в) і  $\alpha_2 \leq \alpha_1 + q_1 \cdot \alpha_1$  отримаємо:

$$W_1 = \text{int R}_+^2, u_*(z_1, z_2) = \{1, (z_1, z_2) \in \text{intR}_+^2\}, \quad (10)$$

і не визначено, в протилежному випадку.

Розглянуто всі випадки співвідношення параметрів взаємодії. **Задача 2**, з точки зору другого гравця-союзника вирішується аналогічно.

### 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконано обчислювальний експеримент в середовищі PTC Mathcad 4. Модель також була реалізована у вигляді окремого програмного модуля на мові Java, 4. Модуль доступний для кросплатформенного використання як самостійний програмний продукт, так і в якості модуля до СППР «SSDMI» [15].

Вісь  $z_1$  – відповідає валюті «тенге» (або інша національна валюта, наприклад, гривня). Вісь  $z_2$  – відповідає валюті «долар». Області перевагу з точки зору другого гравця «примикають» до областей переваги першого гравця. Ці області розділяються між собою променями збалансованості. Промені мають таку властивість: якщо пара станів

$(z_1(0), z_2(0))$  належить променю збалансованості, то у гравців є стратегії, що дозволяють їм перебувати на промені збалансованості для всіх наступних моментів  $t$ . В ході обчислювального експерименту, в просторі змінних  $(z_1, z_2)$  знаходяться промені збалансованості. Таким чином, якщо взаємодія починається з цих станів, то у гравців є стратегії, які дозволяють їм залишатися на промені збалансованості. Отже, при заданих  $(z_1(0), z_2(0))$  можна знайти співвідношення на параметри взаємодії, при яких пара  $(z_1(t), z_2(t))$  буде перебувати на промені збалансованості.

Якщо початкові стани (ресурси) не перебувають на промені збалансованої взаємодії, то в ході обчислювального експерименту, можна спробувати змінити параметри взаємодії. Це потрібно для того, щоб початкові ресурси виявилися на промені збалансованості. Останнє дозволить гравцям як завгодно довго продовжувати взаємодію.

**Рішення задачі.** Далі приймаємо: інвестиційна компанія – гравець (I); корпорація – гравець (II). Взаємодія гравців розглядається в рамках позиційної диференціальної гри з повною інформацією [8, 11, 13]. В рамках цієї схеми, взаємодія «породжує» два завдання - з точки зору першого гравця-союзника і з точки зору другого гравця-союзника. Внаслідок симетричності, досить обмежитися розглядом однієї з них. Наприклад, з точки зору першого гравця-союзника. Для цього, визначимо чисті стратегії першого гравця-союзника. позначимо через  $T = [0, M]$  – тимчасовий сегмент, тобто множина, що характеризує область зміни часового параметру;  $M$  – позитивне дійсне число.

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На рис. 1-3 показані результати для 3-тестових розрахунків оцінки інвестицій в систему крб ситуаційного центру залізничного транспорту Республіки Казахстан.

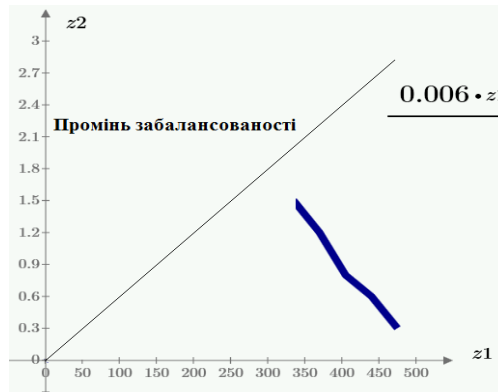


Рис. 1. Результати обчислювального експерименту 1

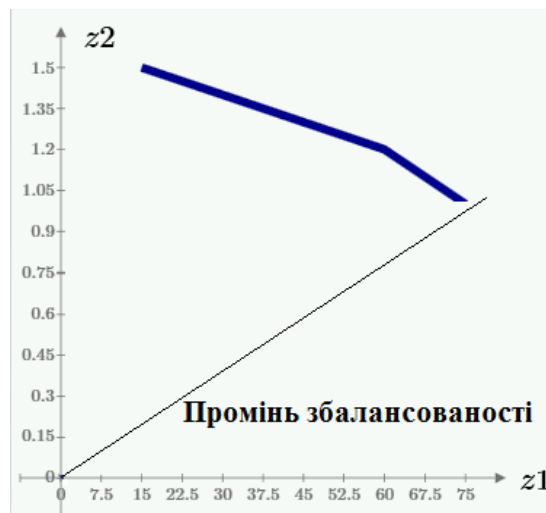


Рис.2. Результати обчислювального експерименту 2

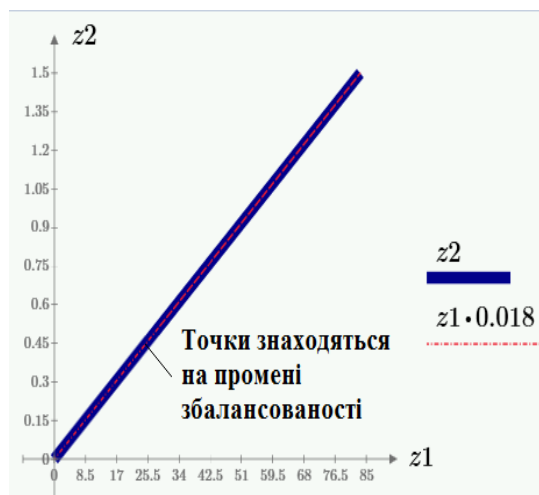


Рис. 3. Результати обчислювального експерименту 3



Перший розрахунок для випадку, коли початкова точка  $(z_1(0), z_2(0))$  належить області переваги 1 гравця («Казахстану», змінна  $z_1$  позначає кількість тенге, змінна  $z_2$  позначає кількість доларів, курс 1 \$ - 335 «тенге»). Другий розрахунок - для випадку, коли початкова точка  $(z_1(0), z_2(0))$  належить області переваги 2 гравця (контрагенту «Казахстану»). Третій розрахунок - для випадку, коли початкова точка  $(z_1(0), z_2(0))$  належить «променю збалансованості», тобто променю, який розділяє області переваги гравців. Результати обчислювального експерименту, представлені в таблиці 1.

В ході експерименту відстежувалася коректність виконання алгоритму в РТС Mathcad 4 та модулі «SSDMI».

Таблиця 1

**Результати обчислювального експерименту щодо вибору стратегії взаємного інвестування в засоби кібербезпеки ситуаційного центру транспорту (на прикладі Республіки Казахстан).**

Номер експерименту	Результати моделювання
1	$(z_1(0), z_2(0)) = (335, 1.5); (z_1(1), z_2(1)) = (370, 1.2); (z_1(2), z_2(2)) = (405, 0.8); (z_1(3), z_2(3)) = (440, 0.6); (z_1(4), z_2(4)) = (475, 0.3)$
2	$(z_1(0), z_2(0)) = (75, 1.0); (z_1(1), z_2(1)) = (60, 1.2); (z_1(2), z_2(2)) = (45, 1.3); (z_1(3), z_2(3)) = (30, 1.4); (z_1(4), z_2(4)) = (15, 1.5)$
3	$(z_1(0), z_2(0)) = (83.33, 1.5); (z_1(1), z_2(1)) = (66.67, 1.2); (z_1(2), z_2(2)) = (55.56, 1.0); (z_1(3), z_2(3)) = (44.44, 0.8); (z_1(4), z_2(4)) = (27.77, 0.5)$

Розрахунок 1. Коефіцієнт, що визначає промінь збалансованості  $g^* = 0.006$ .

Розрахунок 2. Коефіцієнт, що визначає промінь збалансованості  $g^* = 0.012$ .

Розрахунок 3. Коефіцієнт, що визначає промінь збалансованості  $g^* = 0.018$ .

На рис. 4 представлена форма для інтерпретації результатів підтримки прийняття рішень, одержуваних за допомогою СППР «SSDMI». На рис. 4 промінь рівноваги (показаний синім кольором з червоними маркерами).



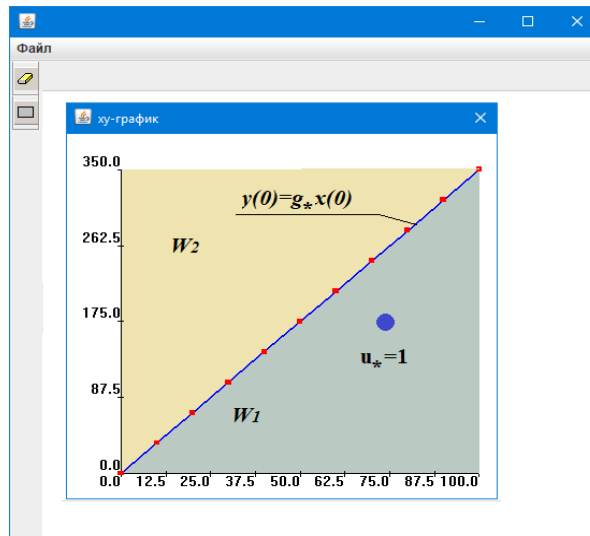


Рис. 4. Результати роботи СППР для вибору стратегій взаємного інвестування в засоби кібербезпеки ситуаційного центру залізничного транспорту Республіки Казахстан

Отримані результати демонструють ефективність запропонованого підходу. В ході тестування моделі в середовищі PTC Mathcad 4, а також СППР «SSDMI» встановлена коректність отриманих результатів. Апробація СППР «SSDMI» виконана і для реальних інвестиційних проектів в сфері кібербезпеки України і Казахстану [14-16].

## 6. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Запропонована модель для модуля системи підтримки прийняття рішення для взаємного інвестування в системи кібербезпеки ситуаційного центру транспорту. Модель дозволяє спрогнозувати результати інвестування і знайти стратегії управління інвестиційним процесом в системи захисту і КрБ ситуаційного центру. На відміну від існуючих рішень, запропонована модель дає конкретні рекомендації при виборі стратегій в інвестиційному процесі побудови захищеного ситуаційного центру. При незадовільному прогнозі, можлива гнучке коригування параметрів процесу інвестування в системи КрБ з метою досягнення сторонами прийняттого фінансового результату.

Проведено обчислювальний експеримент в ході якого розглянуто новий клас білінійних диференціальних ігор, який дозволив адекватно описати процес інвестування в засоби КрБ ситуаційних центрів транспорту в Казахстані і Україні. Відмінною особливістю розглянутого підходу, зокрема, апробованого під час обчислювального експерименту, є використання рішення, заснованого на білінійної диференціальної гри якості з декількома термінальними поверхнями. Особливістю цієї диференціальної гри в тому, що права частина системи диференціальних рівнянь являє собою білінійні функції з довільними коефіцієнтами.

Розроблено кросплатформовий програмний продукт у вигляді самостійного модуля для системи підтримки прийняття рішень - «SSDMI». У модулі «SSDMI» реалізована запропонована модель, що базується на застосуванні методів теорії диференціальних ігор. Модуль СППР «SSDMI» дозволяє зменшити розбіжності даних прогнозування і реальної віддачі від інвестування в засоби КрБ КВКС. В ході



обчислювального експерименту і практичної реалізації кількох інвестиційних проєктів підтверджена працездатність моделі та комп'ютерної програми «SSDMI».

Подальшими перспективами розвитку даного дослідження є перенесення накопиченого досвіду при розробці СППР на платформі Android. Це підвищить мобільність прийняття рішень для взаємного інвестування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]. Gordon, L. A., Loeb, M. P., Lucyshyn, W., & Zhou, L. (2015). Externalities and the magnitude of cyber security underinvestment by private sector firms: a modification of the Gordon-Loeb model. *Journal of Information Security*, 6(1), 24. DOI: 10.4236/jis.2015.61003
- [2]. Fielder, A., Panaousis, E., Malacaria, P., Hankin, C., & Smeraldi, F. (2016). Decision support approaches for cyber security investment. *Decision Support Systems*, 86, 13–23. DOI: org/10.1016/j.dss.2016.02.012
- [3]. Meland, P. H., Tondel, I. A., & Solhaug, B. (2015). Mitigating risk with cyberinsurance. *IEEE Security & Privacy*, 13(6), 38–43. DOI: 10.1109/MSP.2015.137
- [4]. Smeraldi, F., & Malacaria, P. (2014). How to spend it: optimal investment for cyber security. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Agents and CyberSecurity* (p. 8). ACM. DOI: 10.1145/2602945.2602952
- [5]. Tosh, D. K., Molloy, M., Sengupta, S., Kamhoua, C. A., & Kwiat, K. A. (2015, August). Cyber-investment and cyber-information exchange decision modeling. In *High Performance Computing and Communications (HPCC), 2015 IEEE 7th International Symposium on Cyberspace Safety and Security (CSS), 2015 IEEE 12th International Conference on Embedded Software and Systems (ICESS), 2015 IEEE 17th International Conference on* (pp. 1219–1224). IEEE.
- [6]. Alpcan, T., & Bambos, N. (2009, October). Modeling dependencies in security risk management. In *Risks and Security of Internet and Systems (CRiSIS), 2009 Fourth International Conference on* (pp. 113–116). IEEE.
- [7]. Peppard, J. *The strategic management of information systems: Building a digital strategy* [Text] / J. Peppard, J. Ward, John Wiley & Sons, 2016.
- [8]. Malyukov V.P. A differential game of quality for two groups of objects [Text] / V.P. Malyukov // *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*. – 1991. – Vol. 55. – Iss. 5. – pp. 596 – 606.
- [9]. Cassidy, A. *A practical guide to information systems strategic planning* [Text] / A. Cassidy, CRC press, 2016.
- [10]. Bonczek, R. H. *Foundations of decision support systems* [Text] / R. H. Bonczek, C. W. Holsapple, & A. B. Whinston, Academic Press, 2014, P. 412.
- [11]. Malyukov V.P. Discrete-approximation method for solving a bilinear differential game [Text] / V.P. Malyukov // *Cybernetics and Systems Analysis*. – 1993. – Vol. 29. – Iss. 6. – P. 879 – 888.
- [12]. Koziolok, A. Assessing survivability to support power grid investment decisions [Text] / A. Koziolok, A. Avritzer, S. Suresh, D. S. Menasché, M. Diniz, E. D. S. e Silva, & L. Happe // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2016. – Vol. 155. – P. 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.05.015>
- [13]. Lakhno, V. Development of a Support System for Managing the Cyber Security of Information and Communication Environment of Transport [Text] / V. Lakhno, A. Petrov, & A. Petrov // *In International Conference on Information Systems Architecture and Technology*. – 2017. – P. 113–127. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67229-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67229-8_11)
14. Lakhno, V. A. Development of a support system for managing the cyber security [Text] / V.A. Lakhno // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. – 2017. – Vol. (2). – P. 109–116. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-2-12>
- [15]. Lakhno, V. Funding model for port information system cyber security facilities with incomplete hacker information available [Text] / V. Lakhno, V. Malyukov, L. Parkhuts, V. Buriachok, B. Satzhanov, & A. Tabylov // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. – 2018. Vol. 96. – P. 4215-4225.
- [16]. Akhmetov, B. Model of investment strategies in cyber security systems of transport situational centers. [Text] / B. B. Akhmetov, V. A. Lakhno, & V. P. Malyukov // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. – 2018. Vol. 2(45). – P. 83-90.

**Valerii A. Lakhno**

Dr. Sc., Professor, Head of Department of computer systems and networks, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
OrcID 0000-0001-9695-4543  
Valss21@ukr.net

**Volodymyr P. Malyukov**

Dr. Sc., Associate Professor, Professor, Department of computer systems and networks, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
OrcID 0000-0002-7533-1555  
volod.malyukov@gmail.com

**Liubov D. Plyska**

Post-graduate student of the Department of computer systems and networks, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
OrcID 0000-0002-6383-7233  
luba.pliska@gmail.com

## MODEL OF INVESTMENT STRATEGIES IN CYBER SECURITY SYSTEMS OF TRANSPORT SITUATIONAL CENTERS

**Abstract.** The actual task of finding the optimal strategy for control the procedure of mutual financial investments to the situation center for cyber security on transport. The aim of the work – the development of a model for a decision support system on the continuous mutual investment in a cyber security situational center, which differs from the existing ones by solving a bilinear differential quality game with several terminal surfaces. In order to achieve the goal there was used a discrete-approximation method for solving a bilinear differential quality game with dependent motions. Application of this method in the developed decision support system, unlike existing ones, gives concrete recommendations for choosing control decisions in the investment process. The proposed model gives concrete recommendations at choosing strategies in the investment process at the creation of a protected situational center. In the course of the computational experiment, there was considered a new class of bilinear differential games that allowed adequately to describe the process of investing in cyber security means of situational transport centers in Kazakhstan and Ukraine. For the first time, there was proposed a model describing the process of mutual investment based on the solution of bilinear equations and a differential quality game with several terminal surfaces. Considered the peculiarity of the differential game on the example of mutual investment in the means of cyber security of the situational transport center. In this case, the right-hand side of the system of differential equations is represented in the form of bilinear functions with arbitrary coefficients. The model allows to predict the results of investment and to find strategies for managing the investment process in the protection and cyber security systems of the situational transport center.

**Keywords:** decision support system, model, bilinear functions, mutual investment, cyber security, situational transport center.

## REFERENCES

- [1]. Gordon, L. A., Loeb, M. P., Lucyshyn, W., & Zhou, L. (2015). Externalities and the magnitude of cyber security underinvestment by private sector firms: a modification of the Gordon-Loeb model. *Journal of Information Security*, 6(1), 24. DOI: 10.4236/jis.2015.61003
- [2]. Fielder, A., Panaousis, E., Malacaria, P., Hankin, C., & Smeraldi, F. (2016). Decision support approaches for cyber security investment. *Decision Support Systems*, 86, 13–23. DOI: org/10.1016/j.dss.2016.02.012
- [3]. Meland, P. H., Tondel, I. A., & Solhaug, B. (2015). Mitigating risk with cyberinsurance. *IEEE Security & Privacy*, 13(6), 38–43. DOI: 10.1109/MSP.2015.137
- [4]. Smeraldi, F., & Malacaria, P. (2014). How to spend it: optimal investment for cyber security. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Agents and CyberSecurity* (p. 8). ACM. DOI: 10.1145/2602945.2602952
- [5]. Tosh, D. K., Molloy, M., Sengupta, S., Kamhoua, C. A., & Kwiat, K. A. (2015, August). Cyber-investment and cyber-information exchange decision modeling. In *High Performance Computing and Communications (HPCC)*, 2015 IEEE



- 7th International Symposium on Cyberspace Safety and Security (CSS), 2015 IEEE 12th International Conference on Embedded Software and Systems (ICESS), 2015 IEEE 17th International Conference on (pp. 1219–1224). IEEE.
- [6]. Alpcan, T., & Bambos, N. (2009, October). Modeling dependencies in security risk management. In Risks and Security of Internet and Systems (CRiSIS), 2009 Fourth International Conference on (pp. 113–116). IEEE.6.
- [7]. Peppard, J. The strategic management of information systems: Building a digital strategy [Text] / J. Peppard, J. Ward, John Wiley & Sons, 2016.
- [8]. Malyukov V.P. A differential game of quality for two groups of objects [Text] / V.P. Malyukov // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 1991. – Vol. 55. – Iss. 5. – pp. 596 – 606.
- [9]. Cassidy, A. A practical guide to information systems strategic planning [Text] / A. Cassidy, CRC press, 2016.
- [10]. Bonczek, R. H. Foundations of decision support systems [Text] / R. H. Bonczek, C. W. Holsapple, & A. B. Whinston, Academic Press, 2014, P. 412.
- [11]. Malyukov V.P. Discrete-approximation method for solving a bilinear differential game [Text] / V.P. Malyukov // Cybernetics and Systems Analysis. – 1993. – Vol. 29. – Iss. 6. – P. 879 – 888.
- [12]. Koziolk, A. Assessing survivability to support power grid investment decisions [Text] / A. Koziolk, A. Avritzer, S. Suresh, D. S. Menasché, M. Diniz, E. D. S. e Silva, & L. Happe // Reliability Engineering & System Safety. – 2016. – Vol. 155. – P. 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.05.015>
- [13]. Lakhno, V. Development of a Support System for Managing the Cyber Security of Information and Communication Environment of Transport [Text] / V. Lakhno, A. Petrov, & A. Petrov // In International Conference on Information Systems Architecture and Technology. – 2017. – P. 113–127. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-67229-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67229-8_11)
- [14]. Lakhno, V. A. Development of a support system for managing the cyber security [Text] / V.A. Lakhno // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2017. – Vol. (2). – P. 109–116. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-2-12>
- [15]. Lakhno, V. Funding model for port information system cyber security facilities with incomplete hacker information available [Text] / V. Lakhno, V. Malyukov, L. Parkhuts, V. Buriachok, B. Satzhanov, & A. Tabylov // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2018. Vol. 96. – P. 4215-4225.
- [16]. Akhmetov, B. Model of investment strategies in cyber security systems of transport situational centers. [Text] / B. B. Akhmetov, V. A. Lakhno, & V. P. Malyukov // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2018. Vol. 2(45). – P. 83-90.