

DOI [10.28925/2663-4023.2019.6.5770](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.6.5770)

УДК 351.82:34+330.47

Лахно Валерій Анатолійович

доктор технічних наук, професор

професор кафедри комп'ютерних систем і мереж

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

ORCID ID: 0000-0002-8849-9648

valss21@ukr.net**Малюков Володимир Павлович**

доктор фізико-математичних наук, доцент

професор кафедри комп'ютерних систем і мереж

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

ORCID ID: 0000-0002-7533-1555

volod.malyukov@gmail.com**Касаткін Дмитро Юрійович**

кандидат педагогічних наук, доцент

доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

ORCID ID: 0000-0002-4377-0916

andriy.blozva@nubip.edu.ua**Блозва Андрій Ігорович**

кандидат педагогічних наук,

доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

ORCID ID: 0000-0002-4377-0916

blozva@nubip.edu.ua**Литовченко Тарас Олексійович**

аспірант кафедри комп'ютерних систем і мереж

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

ORCID ID: 0000-0002-3869-367X

ltmyjob28@gmail.com

МОДЕЛЬ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ГРУПИ ІНВЕТОРІВ ПРОЕКТІВ ДЛЯ SMART CITY З УРАХУВАННЯМ БАГАТОФАКТОРНОСТІ

Анотація. Створення моделі підтримки прийняття рішень групою інвесторів з урахуванням багатофакторності для розвитку Smart City. У статті описана методика використання моделі математичної підтримки рішень у процесі оцінювання інвестиційних проектів. Результати отримані на підставі рішення білінійної багатокрокової гри якості з декількома термінальними поверхнями. Модель орієнтована на подальшу програмну реалізацію в системі підтримки прийняття рішень (СППР) або експертної системи для крос-платформних програмних продуктів. При цьому гравці управляють динамічною системою в багатовимірних просторах проектів. Наукова новизна статті полягає в тому, що на відміну від існуючих рішень і близьких по концептуальній спрямованості досліджень, в статті вперше розглядається новий клас білінійних багатокрокових ігор. Нами вперше запропоновано рішення, що дозволяє адекватно і коректно описувати процеси інвестування, враховуючи багатофакторність в постановці завдання. Виконано обчислювальні експерименти в системі MatLab для пошуку множин, перевагу інвесторів і їх оптимальних фінансових стратегій в ході аналізу проектів розвитку Smart City. Результатами обчислювальних експериментів підтверджена коректність і адекватність моделі. З точки зору



практичної значимості розглянуто сферу інвестування в проекти розвитку Smart City з урахуванням багатовимірності завдання і потенційних фінансових стратегій груп інвесторів. Модель дозволяє виконувати оцінку привабливості для груп інвесторів (гравців) проектів, що аналізуються.

Ключові слова: теорія ігор, стратегії інвестування, багатовимірний випадок, підтримка рішень, багатокрокова гра, білінійні рівняння.

1. ВСТУП

Постановка задачі. Концептуально ідея створення і розвитку розумних міст (далі Smart City) була озвучена ще на початку 2000-х років. Відразу зауважимо, що багато інвесторів, які активно працюють на ринку передових цифрових технологій, проявили великий інтерес до потенціалу розвитку Smart City. З початку 21-го століття рідкісні форуми, які були присвячені урбаністській тематиці і перспективам її розвитку з використанням нових інформаційних технологій (ІТ), обходилися без дискусій про передові цифрові технології Smart City. Дуже багато гравців на ринку інвестицій, а також такі всесвітньо відомі компанії в сфері ІТ як: Google, IBM, Cisco Systems (США), Siemens AG, Schneider Electric (Німеччина), Ericsson (Швеція) та багато інших, а також громадські інститути почали розглядати Smart City в розрізі перспектив інвестування в Smart технології та створення нових зон для кооперації виробників високотехнологічних продуктів для потреб міського господарства. Міська влада багатьох крупних міст, перш за все на рівні муніципалітетів, заявили про стратегії інвестування в проекти Smart City. Це було продиктовано прагненням підвищувати статус міста, а також можливістю залучати довгострокові інвестиції. Також вельми перспективною стала ідея локалізації високотехнологічного бізнесу в рамках міської інфраструктури. При цьому, перед компаніями виникли завдання, спрямовані на вирішення локальних міських проблем, що направлені на використання нових цифрових рішень. Наприклад, компанія Google впровадила в місті Колумбус (штат Огайо) систему Flow, призначену для моніторингу дорожнього трафіку. Дана Smart-система покликана керувати трафіком, на базі аналізу різної транспортної інформації. Знеособлена інформація, наприклад, може збиратися із смартфонів, навігаторів та інших призначених для користувача пристроїв. Аналізуючи цю інформацію міська влада може здійснювати аналіз і робити прогнози щодо запобігання виникнення заторів у великому місті.

Подібні інвестиційні проекти характеризуються високим рівнем невизначеності і ризикованості. У роботах [1, 2] автори відзначали, що для підвищення результативності та ефективності оцінювання подібних великих проектів доцільно задіяти потенціал різних комп'ютеризованих систем підтримки рішень (СПР). Це особливо актуально для ситуацій, коли на ринку інвестицій взаємодіє кілька груп інвесторів, інтереси яких часто діаметрально протилежні [3-5].

Усе вище зазначене зумовило актуальність теми нашого дослідження, зокрема в аспекті необхідності розробки нових моделей для СПР щодо інвестування у великі



інноваційні рішення. Подібні моделі, що реалізовані у вигляді відповідних алгоритмічних та програмних розробок моделей СППР, дозволять зменшити розбіжності даних прогнозування і реального прибутку від інвестування в технології Smart City.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фінансово-математичними, алгоритмічними й іншими аспектами вибору раціональних стратегій інвестора, зокрема, для Smart City, та інших супутніх інформаційних технологій ІТ, тільки за останні 5-7 років, присвячено десятки публікацій. Докладний аналіз яких виконаний в роботах [1-4]. В рамках нашого дослідження ми проаналізували публікації, які близькі до теми нашого дослідження концептуально. І, відповідно, присвячені тематиці математичного та комп'ютерного моделювання, а також вибору раціональних фінансових стратегій інвесторів [5-7]. Зокрема, на базі застосування сучасних СППР та експертних систем. Так в роботах [8-10], автори показали, що, спираючись тільки на традиційні моделі, алгоритми в розрахунках та оптимізації варіантів дій інвесторів у такі високо ризиковані галузі для інвестицій як ІТ, кібербезпека, Smart City, цифровізація підприємств тощо, інвестору складно досягти прийнятного результату. Моделі, які були представлені в розглянутих роботах, хоч і дозволяли отримати певну прогностичну оцінку для дій інвестора, все ж, абсолютно не враховували багатofакторність процесу інвестування. А крім того, дані дослідження не завжди завершувалися їх програмною реалізацією і швидше представляють інтерес для академічної спільноти, ніж для реальних інвесторів, які потребують простого та ефективного інструментарію для аналізу і вибору власних фінансових стратегій.

Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми. У роботах [10-12] вказувалося, що при всій своїй привабливості широко використовуються в СППР метод ієрархій (метод Т. Сааті) [13] та експертні методи [9, 10, 14], у більшості випадків майже не підходять для синтезу прогностичних оцінок, які видаються цими програмними продуктами інвестору. Особливо це помітно в такому аспекті як доцільність вибору інвестором або групою інвесторів раціональних стратегій вкладення своїх фінансових ресурсів у той чи інший проект. Особливо такий великий і ресурсномісткий як інвестування в ІТ та Smart City. Причому практично всі автори не відображають вже згадану нами багатofакторність завдання, а також ту обставину, що інвестори можуть діяти як погоджено, будучи фактично союзниками, так і не узгоджено. У роботах [7, 15, 16] були запропоновані моделі для СППР, які стосуються аналізу і оцінювання стратегій інвесторів в контексті дій двох сторін (гравців). Відповідно до [17, 18] загальним підходом до моделі, яка базується на теорії ігор, є припущення, що одна зі сторін інвестиційного процесу, розглядається як якась сукупність потенційних загроз, які можуть виникнути в результаті некомпетентних, неузгоджених дій інвесторів або груп інвесторів. Такі неузгоджені дії можуть призвести до втрати капіталу. Зрозуміло, інвестор хоче мати більш точні та адекватні моделі, які допоможуть запобігти настільки сумного для нього результату.

При цьому, як було показано вище в роботах [1, 2, 3, 5, 12, 14, 16], інвестори в технології Smart City, можуть лобювати різні напрямки інвестування і, відповідно, відстоювати власне бачення раціональних стратегій вкладення фінансових ресурсів. Так,



наприклад, одна група бачить перспективним розвиток міської транспортної інфраструктури на платформах і технологіях Smart City. А інша тяжіє до варіантів інвестування в енергозберігаючі технології, які зменшать викиди токсичних речовин в Smart City. Третя група зацікавлена в розвитку таких категорій, що характеризують Smart City, як: охорона здоров'я або безпека населення. Насправді, таких варіантів може бути безліч, звідси і різні підходи таких відомих і вдалих прикладів реалізації інвестиційних проектів з розвитку Smart City як - Мельбурн, Токіо, Сеул, Сан-Франциско або Сінгапур.

У роботах [16, 18] показано, що до даного класу задач, найбільш доцільними за логікою, яка описує поведінку складної системи, є моделі, що базуються на теорії ігор.

Як показав аналіз досліджень в даній області [1, 5, 9, 12, 15], більшість моделей і алгоритмів, наведених у роботах [13, 14, 17, 18], не містять реальних рекомендацій інвесторам щодо проектів, пов'язаних із Smart City. Особливо це стосується аспектів пошуку раціональних стратегій взаємного фінансового інвестування у подібних проектах. Окремим трендом досліджень у даній області стали роботи, присвячені застосуванню різних експертних систем (ЕС) [19] і СППР [19, 20] для вибору раціональних стратегій інвестування.

Усі вище згадані чинники, власне і зумовили наш інтерес і релевантність розробки нових моделей для модулів СППР, які здатні підтримати процедуру підтримки прийняття рішень групою або групами інвесторів у ході пошуку раціональних стратегій інвестування в сфері розвитку Smart City з урахуванням багатofакторності завдання.

Мета дослідження – розвиток моделей для інтелектуалізованих систем підтримки прийняття рішень під час процедур вибору раціональних стратегій інвестування групою або групами інвесторів в проекти, пов'язані з впровадженням інноваційних технологій Smart City.

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Використані положення теорії ігор, зокрема які базуються на рішеннях білінійних багатокрокових ігор якості. Об'єкт досліджень – процес інвестування у розвиток Smart City. Предмет досліджень – моделі білінійних багатокрокових ігор якості для інтелектуалізованих систем підтримки прийняття рішень.

2. ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ.

Модель заснована на аналізі можливостей процедури фінансування групою або групами інвесторів (далі використовуємо термінологію, прийняту в теорії ігор – гравців) у сфері розвитку цифрових технологій Smart City. Завдання вирішується з урахуванням багатofакторності, яка обумовлена множинністю можливих стратегій гравців. Модель логічно продовжує наші роботи [15, 16, 21]. Запропонований нами підхід базується на рішеннях білінійних багатокрокових ігор якості. Причому подібне рішення в контексті даної статті розглядається для груп гравців. І його відмінністю є аналіз отриманих результатів для декількох термінальних поверхонь.

Вважаємо, що спочатку склалася ситуація, коли є дві групи інвесторів. Ці групи прагнуть проінвестувати проекти, пов'язані з розвитком Smart City. Кожна група

інвесторів, діє як єдине ціле. Однак вважаємо, що кожен інвестор у групі фінансує певну цифрову технологію в рамках розвитку Smart City. Деякі варіанти таких дій ми зазначили вище. Нехай першу групу представляє перший гравець. Відповідно, другу - другий гравець. Для даної ситуації, гравці управляють динамічною системою в багатовимірних просторах. Ця система буде задавати зміни фінансових потоків гравців. Тоді, відповідно до [15, 16, 21], систему можна описати білінійними багатокроковими рівняннями з залежними рухами. Необхідно знайти множину стратегій (U) та (V), відповідно, першого і другого гравця. Зазначимо, що ці стратегії задані термінальними поверхнями S_0, F_0 , відповідно для першого і другого гравця. Цілі гравців визначимо так: перший гравець за допомогою своїх стратегій управління (групи гравців, далі - $Inv1$, наприклад, керівництво об'єкта інвестування Smart City, муніципалітет або аналогічна структура) намагається привести динамічну систему на термінальну поверхню S_0 . Другий гравець (групи гравців) $Inv2$, керуючись своїми стратегіями, намагається привести динамічну систему на термінальну поверхню F_0 . Для гравців $Inv1$ і $Inv2$ неважливо як діє протилежна сторона.

Зазначені цілі, породжують два завдання. Це, відповідно, завдання, вирішення яких необхідно знайти з точки зору першого гравця-союзника і з точки зору другого гравця-союзника [15, 21].

У рамках статті ми розглянемо тільки рішення задачі з точки зору першого гравця-союзника, оскільки вирішення другого завдання аналогічне [15, 16, 21]. Відзначимо, що перший гравець – це група з M інвесторів. Другий гравець - група з K інвесторів.

У момент часу $t=0$ у $Inv1$ є набір $h(0) = (h_1(0), \dots, h_n(0))$, який складається з векторів $h_i(0)$. Ці вектори $h_i(0)$ складаються з n компонентів. Компоненти характеризують величини фінансових ресурсів (далі $FinR$), для розвитку j -ої нової технології для Smart City.

Аналогічно, маємо набір $f(0) = (f_1(0), \dots, f_n(0))$ ($f_i(0)$) для $Inv2$. Даний вектор теж складається з n компонентів. Як і в першому випадку, компоненти характеризують величини $FinR$, що спрямовані $Inv2$ на розвиток j -ої технології Smart City.

Зазначені набори визначають прогностичні, в момент $t=0$, величини $FinR$ гравців (відповідно, $Inv1$ і $Inv2$). При цьому врахована багатофакторність у наборах $h(0)$ і $f(0)$

Динаміка зміни $FinR$ для гравців може бути описана так:



$$\begin{aligned}
h_1(t+1) &= G_1^1 \cdot h_1(t) - U_1(t) \cdot G_1^1 \cdot h_1(t) - S_2^{11} \cdot V_1(t) \cdot G_2^1 \cdot f_1(t) - \dots \\
&\quad - S_2^{1K} \cdot V_K \cdot G_2^K \cdot f_K(t); \\
&\dots\dots\dots \\
h_M(t+1) &= G_1^M \cdot h_M(t) - U_M(t) \cdot G_1^M \cdot h_M(t) - S_2^{M1} \cdot V_1(t) \cdot G_2^1 \cdot f_1(t) - \dots \\
&\quad - S_2^{MK} \cdot V_K \cdot f_K(t); \\
f_1(t+1) &= G_2^1 \cdot f_1(t) - V_1(t) \cdot G_2^1 \cdot f_1(t) - S_1^{11} \cdot U_1(t) \cdot G_1^1 \cdot h_1(t) - \dots \\
&\quad - S_1^{1M} \cdot U_M(t) \cdot G_1^M \cdot h_M(t); \\
&\dots\dots\dots \\
f_K(t+1) &= G_2^K \cdot f_K(t) - V_K(t) \cdot G_2^K \cdot f_K(t) - S_1^{K1} \cdot U_1(t) \cdot h_1(t) - \dots \\
&\quad - S_1^{KM} \cdot U_M(t) \cdot G_1^M \cdot h_M(t);
\end{aligned} \tag{1}$$

де h — величина фінансового ресурсу ($FinR$) для $Inv1$;

f — величина фінансового ресурсу ($FinR$) $Inv2$;

$h_1(t) \in R^n, \dots, h_M(t) \in R^n, f_1(t) \in R^n, \dots, f_K(t) \in R^n$;

$U_1(t), \dots, U_M(t), V_1(t), \dots, V_K(t)$ — квадратні діагональні матриці порядку n з позитивними елементами $u_j^i(t) \in [0,1], (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, M)$,

$v_l^i(t) \in [0,1], i = 1, \dots, n; l = 1, \dots, K$; на головних діагоналях матриць $U_j(t), V_l(t)$;

G_1 — матриця перетворення фінансового ресурсу $Inv1$ при успішній реалізації в сфері цифровізації підприємств з урахуванням багатofакторності;

G_2 — матриця перетворення ресурсу $Inv2$;

S_1 — матриця, що характеризує еластичність дій гравця $Inv2$ по відношенню до гравця 1 (тобто $Inv1$);

S_2 — матриця, що характеризує еластичність інвестицій $Inv1$ по відношенню до $Inv2$;

$G_1^j, G_2^l, S_1^{lj}, S_2^{jl}$ — квадратні матриці порядку n з позитивними елементами $g_1^{km}, g_2^{km}, s_1^{km}, s_2^{km}, k = 1, \dots, n; m = 1, \dots, n$; , відповідно, $t = 0, 1, \dots$

Припускаємо, що

$$S_0 = \bigcup_{i=1}^{K \cdot n} \{(h, f) : (h, f) \in R^{2 \cdot n}, h \geq 0, f_i < 0\} \tag{2}$$

$$F_0 = \bigcup_{i=1}^{M \cdot n} \{(h, f) : (h, f) \in R^{2 \cdot n}, f \geq 0, h_i < 0\}. \quad (3)$$

де S_0, F_0 – термінальні поверхні для $Inv1$ і $Inv2$, Відповідно;
 $R^{2 \cdot n}$ – (2-п мірний простір).

Взаємодія $Inv1$ і $Inv2$ закінчиться якщо виконуються умови:

$$(h(t), f(t)) \in S_0, \quad (4)$$

$$(h(t), f(t)) \in F_0. \quad (5)$$

Якщо виконані умови (4) або (5), то, відповідно, вважаємо, що у $Inv2$ і $Inv1$ не вистачило фінансових коштів для продовження процедур фінансування. Якщо обидві умови (4) і (5) не виконуються, вважаємо, що процедури фінансування будуть продовжені.

Процес, описаний системою (1) розглянуто в рамках схеми позиційної багатокрокової гри з повною інформацією [21, 22].

Рішення завдання 1 - знаходження множини «переваг» $Inv1$, а також його оптимальних стратегій. Аналогічно для $Inv2$.

Детальний виклад рішення цих завдань наведено в роботах [16, 21, 23–26], тому в рамках даної статті ми зупинимося на отриманих результатах і коментарях до них.

Будемо вважати, що перша група інвесторів складається з двох інвесторів, а друга - з одного. Зобразимо динаміку взаємодії інвесторів:

$$\begin{aligned} h_1(t+1) &= (5/3) \cdot h_1(t) - u_1(t) \cdot (5/3) \cdot h_1(t) - 4 \cdot v(t) \cdot f(t), \\ h_2(t+1) &= (5/3) \cdot h_2(t) - u_2(t) \cdot (5/3) \cdot h_2(t) - (1/3) \cdot v(t) \cdot f(t); \end{aligned} \quad (6)$$

$$f(t+1) = f(t) - v(t) \cdot (1/4) \cdot f(t) - (1/4) \cdot u_1(t) \cdot (5/3) \cdot h_1(t) - 3 \cdot u_2(t) \cdot (5/3) \cdot h_2(t); \quad (6)$$

де $u_1(t) \in [0,1], u_2(t) \in [0,1], v(t) \in [0,1]$.

Початкові стани гравців першої групи такі: $h_1(0) = 2.7; h_2(0) = (7/19)$; стан гравця другої групи: $f(0) = 1$.

Якщо обмежити час гри двома кроками, то неважко зробити висновок про те, що гравці першої групи повинні діяти узгоджено, щоб досягти своєї мети за два кроки тому, що при неузгоджених діях перша група цього досягти не може. Дійсно, область \hat{W}_1 у нашій грі записується так:

$$\hat{W}_1 = \{(h_1(0), h_2(0), f(0)) : (h_1(0), h_2(0), f(0)) \in R_+^3, 5 \cdot h_1(0) > 12 \cdot f(0), 5 \cdot h_2(0) > f(0)\},$$

де R_+^3 - позитивний ортант у тривимірному просторі;

Множина переваг першої групи інвесторів за один крок при узгодженому способі дій в групі:

$$W_{1,c}^1 = \{(h_1(0), h_2(0), f(0)) : (h_1(0), h_2(0), f(0)) \in R_+^3, \\ 5 \cdot h_1(0) + 60 \cdot h_2(0) > 36 \cdot f(0)\}.$$

Відзначимо, що співвідношення параметрів таке, що множина переваг за два кроки при узгодженому способі дій в групі збігається з \hat{W}_1 , тобто $W_{1,c}^2 = \hat{W}_1$.

Множина переваг при неузгодженому способі дій гравців за один і за два кроки записуються таким чином:

$$W_{1,n}^1 = \{(h_1(0), h_2(0), f(0)) : (h_1(0), h_2(0), f(0)) \in R_+^3, \\ 5 \cdot h_1(0) > 24 \cdot f(0)\} \cup \{(h_1(0), h_2(0), f(0)) : (h_1(0), h_2(0), f(0)) \in R_+^3, \\ 5 \cdot h_2(0) > 2 \cdot f(0)\},$$

$$W_{1,n}^2 = \{(h_1(0), h_2(0), f(0)) : (h_1(0), h_2(0), f(0)) \in R_+^3, \\ 5 \cdot h_1(0) > 14 \cdot f(0)\} \cup \{(h_1(0), h_2(0), f(0)) : \\ (h_1(0), h_2(0), f(0)) \in R_+^3, \\ 18 \cdot h_2(0) > 7 \cdot f(0)\}.$$

Неважко помітити, що $(h_1(0), h_2(0), h_3(0)) = (2.7, (7.19), 1) \notin W_{1,n}^1 \cup W_{1,n}^2 \cup W_{1,c}^1$, але належить множині \hat{W}_1 . Це показує, що лише при узгодженні своїх дій інвестори першої групи досягнуть своєї мети за два кроки. Слід зазначити, що при непогоджених діях гравців в групі, перший гравець (з першої групи) при такому початковому стані може досягти мети за три кроки.

Обчислювальні експерименти були виконані середовищі MatLab.

Обговорення отриманих результатів. На рис. 1 показаний приклад результату тестового розрахунку. Досягнута мета нашого експерименту – визначити множину стратегій гравців і множину переваг груп інвесторів.

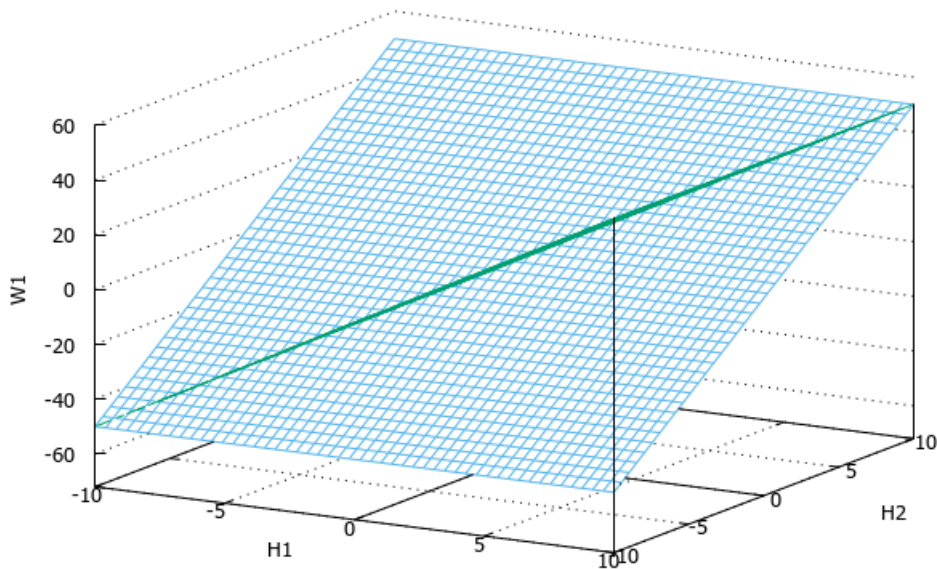


Рис. 1. Результат моделювання множин оптимальності першої групи при узгодженому дії інвесторів в першій групі

На Рис. 1 наведені результати моделювання множини оптимальності першої групи у випадку узгодженості дій інвесторів у першій групі. Аналогічні результати можуть бути отримані і для випадку визначення множин оптимальності першого інвестора в першій групі і другого інвестора в першій групі при їх неузгоджених діях. Їх об'єднання «менше» (відносно включення множин) множини оптимальності першої групи при узгоджених діях гравців в групі.

Подальшими перспективами розвитку дослідження є реалізація моделей у програмному продукті, що розробляється – СППР при інвестуванні у Smart City.

3. ВИСНОВКИ

Запропонована модель для математичної підтримки рішень в ході оцінювання проектів для Smart City з урахуванням багатофакторності завдання і потенційних фінансових стратегій груп інвесторів. Модель дозволяє виконувати оцінку привабливості для груп інвесторів (гравців) проектів, що аналізуються. При цьому, гравці управляють динамічною системою в багатовимірних просторах проектів. Як приклад практичного застосування моделі, розглянуті інвестиційні проекти для Smart City. Отримані результати і, власне, математичні викладки, що наведені в статті, отримані на підставі рішення білінійної багатокрокової гри якості з декількома термінальними поверхнями. Наукова новизна роботи полягає в тому, що, на відміну від існуючих рішень і близьких по концептуальній спрямованості досліджень, у статті вперше розглядається новий клас білінійних багатокрокових ігор. Запропонований підхід і отримане рішення для пошуку множини переваг гравців, дозволяє описувати процеси інвестування більш коректно і адекватно, враховуючи багатофакторність у постановці завдання. Програмний продукт спроектований у вигляді модуля СППР груп



інвесторів та надає останнім інструментарій для пошуку оптимальних фінансових інвестиційних стратегій. Обчислювальні експерименти виконані в середовищі MatLab з метою пошуку множин переваг інвесторів і їх оптимальних фінансових стратегій в процесі аналізу проектів розвитку Smart City. Результатами обчислювальних експериментів підтверджена коректність і адекватність моделі пошуку оптимальних стратегій групою інвесторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, RM (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22 (1), pp. 3-21.
- [2] Angelidou, M. (2015). Smart cities: A conjuncture of four forces. *Cities*, 47, pp. 95-106.
- [3] Glasmeier, Amy, and Susan Christopherson. "Thinking about smart cities." (2015): pp. 3-12.
- [4] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014 року). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1 (1), pp. 22-32.
- [5] Lakhno, V., Malyukov, V., Bochulia, T., Hipters, Z., Kwilinski, A., Tomashevskaya, O. (2018). Model of managing of the procedure of mutual financial investing in information technologies and smart city systems. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9 (8), pp. 1802-1812.
- [6] Paroutis, S., Bennett, M., & Heracleous, L. (2014 року). A strategic view on smart city technology: The case of IBM Smarter Cities during a recession. *Technological Forecasting and Social Change*, 89, pp. 262-272.
- [7] Hollands, RG (2015). Critical interventions into the corporate smart city. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8 (1), pp. 61-77.
- [8] Mithas, S., Tafti, A., & Mitchell, W. (2013). How a Firm's Competitive Environment and Digital Strategic Posture Influence Digital Business Strategy. *Mis Quarterly*, 37 (2). pp. 511-536.
- [9] Tiwana, A., & Ramesh, B. (2001, January). E-services: Problems, opportunities, and digital platforms. In *System Sciences*, 2001. Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on (pp. 8-pp). IEEE.
- [10] Mazzarol, T. (2015). SMEs engagement with e-commerce, e-business and e-marketing. *Small enterprise research*, 22 (1), pp. 79-90.
- [11] Solanas, Agusti, et al. "Smart health: a context-aware health paradigm within smart cities." *IEEE Communications Magazine* 52.8 (2014 року): pp. 74-81.
- [12] Mohammadzadeh, AK, Ghafoori, S., Mohammadian, A., Mohammadkazemi, R., Mahbanoeei, B., & Ghasemi, R. (2018). A Fuzzy Analytic Network Process (FANP) approach for prioritizing internet of things challenges in Iran. *Technology in Society*, 53, pp. 124-134.
- [13] Selçuk, ALP, & Özkan, TK (2015). Job choice with multi-criteria decision making approach in a fuzzy environment. *International Review of Management and Marketing*, 5 (3), pp. 165-172.
- [14] Kache, F., & Seuring, S. (2017). Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*, 37 (1), pp. 10-36.
- [15] Akhmetov, BB, Lakhno, VA, Akhmetov, BS, & Malyukov, VP (2018). The Choice of Protection Strategies During the Bilinear Quality Game On Cyber Security Financing. *Bulletin of The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, (3), pp. 6-14.
- [16] Lakhno V., Malyukov V., Gerasymchuk N. et al. (2017). Development of the decision making support system to control a procedure of financial investment, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3), pp. 24-41.
- [17] Smit, HT, & Trigeorgis, L. (2015). Flexibility and games in strategic investment.
- [18] Arasteh, A. (2017). Considering the investment decisions with real options games approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, pp. 1282-1294.
- [19] Gottschlich, J., & Hinz, O. (2014 року). A decision support system for stock investment recommendations using collective wisdom. *Decision support systems*, 59, pp. 52-62.



- [20] Strantzali, E., & Aravossis, K. (2016). Decision making in renewable energy investments: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, pp. 885-898.
- [21] Lakhno, V., Malyukov, V., Parkhuts, L., Buriachok, V., Satzhanov, B., & Tabylov, A. (2018). Funding model for port information system cyber security facilities with incomplete hacker information available. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, 96 (13), pp. 4215-4225.
- [22] Vilajosana, I., Llosa, J., Martinez, B., Domingo-Prieto, M., Angles, A., & Vilajosana, X. (2013). Bootstrapping smart cities through a self-sustainable model based on big data flows. *IEEE Communications magazine*, 51 (6), 128-134.
- [23] Akhmetov, B., Balgabayeva, L., etc. (2019). Mobile platform for decision support system during mutual continuous investment in technology for smart city, *Studies in Systems, Decision and Control*, Vol. 199, pp. 731-742.
- [24] Akhmetov, B., et al. (2018). Development of sectoral intellectualized expert systems and decision making support systems in cybersecurity. In *Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software* (pp. 162-171). Springer, Cham.
- [25] Al Hadidi, M., Ibrahim, Y. K., et al. (2016). Intelligent systems for monitoring and recognition of cyber attacks on information and communication systems of transport. *International Review on Computers and Software*, 11(12), 1167-1177.
- [26] Smirniy, M., et al. (2009). The research of the conflict request threads in the data protection systems. *Proceedings of Lugansk branch of the International Academy of Informatization*, 2(20), 23-30.



Valeriy A. Lakhno

Doctor of technical sciences, professor

Professor of the Department of Computer Science and Networks

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

ORCID ID: 0000-0002-8849-

valss21@ukr.net

Volodymyr P. Malukov

Doctor of physical and mathematical sciences, associate professor

Professor of the Department of Computer Science and Networks,

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

ORCID ID: 0000-0002-7533-1555

volod.malyukov@gmail.com

Dmytro Yu. Kasatkin

PhD, associate professor

Associate Professor of the Department of Computer Science and Networks,

ORCID ID: 0000-0002-2642-8908

d.kasatkin@nubip.edu.ua

Andriy I. Blozva

PhD

Associate Professor of the Department of Computer Science and Networks,

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

ORCID ID: 0000-0002-4377-0916

andriy.blozva@nubip.edu.ua

Taras O. Litovchenko

graduate student of the Department of Computer Science and Networks

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

ORCID ID: 0000-0002-3869-367X

ltmyjob28@gmail.com

MODEL FOR SUPPORTING DECISIONS OF A GROUP OF A SMART CITY PROJECT INVESTORS, TAKING INTO CONSIDERATION MULTIFACTORIALITY

Abstract. Creating a multi-factor decision support model for a group of investors for Smart City development. The article describes the method of using of the mathematical decision support model in the evaluation of investment projects. The results are based on the decision of a bilinear multi-step quality game with several terminal surfaces. The model is focused on further software implementation of the decision support system (DSS) or expert system for cross-platform software products. In doing so, players control a dynamic system in multidimensional project spaces. The scientific novelty of the article is that, in contrast to the existing solutions and close to the conceptual focus of research, in the article, for the first time we consider a new class of bilinear multiplayer games. For the first time, we have proposed a solution that allows us to appropriately and correctly describe the investment processes, considering the multifactorial nature of the problem. Computational experiments were performed in MatLab to find sets, investor preferences, and their optimal financial strategies in the analysis of Smart City development projects. The results of the computational experiments confirmed the correctness and capability of the model. In terms of practical importance, the scope of investing in Smart City development projects is considered, given the multifactorial nature of the task and the potential financial strategies of



investor groups. The model makes it possible to evaluate the attractiveness for the investor groups (players) of the projects being analyzed.

Keywords: game theory, investing strategies, multidimensional case, decision support, multi-step game, bilinear equations.

REFERENCES

- [1] Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, RM (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22 (1), pp. 3-21.
- [2] Angelidou, M. (2015). Smart cities: A conjuncture of four forces. *Cities*, 47, pp. 95-106.
- [3] Glasmeier, Amy, and Susan Christopherson. "Thinking about smart cities." (2015): pp. 3-12.
- [4] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014 roky). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1 (1), pp. 22-32.
- [5] Lakhno, V., Malyukov, V., Bochulia, T., Hipters, Z., Kwilinski, A., Tomashevskaya, O. (2018). Model of managing of the procedure of mutual financial investing in information technologies and smart city systems. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9 (8), pp. 1802-1812.
- [6] Paroutis, S., Bennett, M., & Heracleous, L. (2014 roky). A strategic view on smart city technology: The case of IBM Smarter Cities during a recession. *Technological Forecasting and Social Change*, 89, pp. 262-272.
- [7] Hollands, RG (2015). Critical interventions into the corporate smart city. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8 (1), pp. 61-77.
- [8] Mithas, S., Tafti, A., & Mitchell, W. (2013). How a Firm's Competitive Environment and Digital Strategic Posture Influence Digital Business Strategy. *Mis Quarterly*, 37 (2). pp. 511-536.
- [9] Tiwana, A., & Ramesh, B. (2001, January). E-services: Problems, opportunities, and digital platforms. In *System Sciences*, 2001. Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on (pp. 8-pp). IEEE.
- [10] Mazzarol, T. (2015). SMEs engagement with e-commerce, e-business and e-marketing. *Small enterprise research*, 22 (1), pp. 79-90.
- [11] Solanas, Agusti, et al. "Smart health: a context-aware health paradigm within smart cities." *IEEE Communications Magazine* 52.8 (2014 roky): pp. 74-81.
- [12] Mohammadzadeh, AK, Ghafoori, S., Mohammadian, A., Mohammadkazemi, R., Mahbanooei, B., & Ghasemi, R. (2018). A Fuzzy Analytic Network Process (FANP) approach for prioritizing internet of things challenges in Iran. *Technology in Society*, 53, pp. 124-134.
- [13] Selçuk, ALP, & Özkan, TK (2015). Job choice with multi-criteria decision making approach in a fuzzy environment. *International Review of Management and Marketing*, 5 (3), pp. 165-172.
- [14] Kache, F., & Seuring, S. (2017). Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*, 37 (1), pp. 10-36.
- [15] Akhmetov, BB, Lakhno, VA, Akhmetov, BS, & Malyukov, VP (2018). The Choice of Protection Strategies During the Bilinear Quality Game On Cyber Security Financing. *Bulletin of The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, (3), pp. 6-14.
- [16] Lakhno V., Malyukov V., Gerasymchuk N. et al. (2017). Development of the decision making support system to control a procedure of financial investment, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3), pp. 24-41.
- [17] Smit, HT, & Trigeorgis, L. (2015). Flexibility and games in strategic investment.
- [18] Arasteh, A. (2017). Considering the investment decisions with real options games approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, pp. 1282-1294.
- [19] Gottschlich, J., & Hinz, O. (2014 roky). A decision support system for stock investment recommendations using collective wisdom. *Decisions support systems*, 59, pp. 52-62.
- [20] Strantzali, E., & Aravossis, K. (2016). Decision making in renewable energy investments: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, pp. 885-898.



- [21] Lakhno, V., Malyukov, V., Parkhuts, L., Buriachok, V., Satzhanov, B., & Tabylov, A. (2018). Funding model for port information system cyber security facilities with incomplete hacker information available. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, 96 (13), pp. 4215-4225.
- [22] Vilajosana, I., Llosa, J., Martinez, B., Domingo-Prieto, M., Angles, A., & Vilajosana, X. (2013). Bootstrapping smart cities through a self-sustainable model based on big data flows. *IEEE Communications magazine*, 51 (6), 128-134.
- [23] Akhmetov, B., Balgabayeva, L., etc. (2019). Mobile platform for decision support system during mutual continuous investment in technology for smart city, *Studies in Systems, Decision and Control*, Vol. 199, pp. 731-742.
- [24] Akhmetov, B., et al. (2018). Development of sectoral intellectualized expert systems and decision making support systems in cybersecurity. In *Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software* (pp. 162-171). Springer, Cham.
- [25] Al Hadidi, M., Ibrahim, Y. K., et al. (2016). Intelligent systems for monitoring and recognition of cyber attacks on information and communication systems of transport. *International Review on Computers and Software*, 11(12), 1167-1177.
- [26] Smirniy, M., et al. (2009). The research of the conflict request threads in the data protection systems. *Proceedings of Lugansk branch of the International Academy of Informatization*, 2(20), 23-30.

