

МАТЕМАТИЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ РЕФЛЕКТОРНИХ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ОЦІНКИ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОПОЗИЦІЙ В ДЕВЕЛОПМЕНТІ

Розглянуто науково-методичний базис створення рефлекторних експертних систем оцінки інвестиційних пропозицій в девелопменті та виконано вибір базової концепції досліджень, яка включає в себе понятійні категорії теорії несилової взаємодії. Запропоновано математичну модель оцінки і вибору рішень за інвестиційними пропозиціями, в основі якої лежить математичний апарат теорії несилової взаємодії.

Ключові слова: *інвестиції, девелопмент, рефлекторна експертна система, штучний інтелект, математична модель*

Постановка проблеми

Особливістю девелопмента є необхідність врахування безлічі факторів для оцінки проекту, при цьому на різних етапах девелоперських проектів різні фактори мають різну важливість. А деякі з них навіть являють «білий шум», якщо використовуються без врахування особливостей проекту. Традиційні інтелектуальні системи в цій сфері мають високу вартість, а врахування всіх особливостей взаємозалежності факторів ще збільшує її. Таким чином для оцінки інвестиційних пропозицій девелоперам стає дешевше і простіше запросити аналітиків, ніж створювати подібні системи. Тому використання подібних систем в девелопменті обмежене. Усунути недоліки і підсилити переваги таких систем дає змогу концепція створення рефлекторних інтелектуальних систем, в основі якої результати отримані в теорії несилової взаємодії

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз сучасних методів і засобів оцінки інвестиційних пропозицій показує, що ця галузь не має інструментальних комерційних рішень, розрахованих на великі компанії, які мають широкий потік девелоперських проектів [1-3]. Найвні методи створені для локального застосування, часто графічні і недостатньо інтелектуалізовані, тому збереження за ними «інформаційного стандарту» (досвіду) оцінки інвестиційних пропозицій на жаль не ведеться [4]. Використання рефлекторних експертних систем дозволяє вирішити цю проблему [5].

Теорія несилової взаємодії базується на введенні у сутності контрагентів взаємодії деякої

внутрішньої функціональності, внутрішньої організації, внутрішньої формації - того, що ми можемо уподібнити інформації. Такий погляд відповідає уявленню про прояв у поведінці людей їх інформаційного вмісту. Введення такої «внутрішньої функціональності» дозволило побудувати математичну модель, що описує процеси несилової взаємодії в предметних областях діяльності людини. Ці дослідження були покладені в основу теорії несилової взаємодії.

Математична модель несилової взаємодії була втілена в алгоритмі оцінки спільної умовної ймовірності реакцій на вхідні параметри за частковими умовним ймовірностям. Цей алгоритм ліг в основу принципу створення рефлекторних інтелектуальних систем [6].

Інтелектуальні системи, що розробляються в рамках теорії несилової взаємодії, отримали назву рефлекторних, оскільки, за аналогією з вищою нервовою діяльністю живих істот, вміють формувати відповідні реакції на різні комбінації вхідних впливів. У біології під рефлексом розуміється відповідна реакція організму на подразнення, що здійснюється за участю нервової системи. Під рефлексом інтелектуальної системи розуміється реакція інтелектуальної системи на вхідні дії, що виробляється спеціальним алгоритмом, який називається рефлекторним [6].

Використання цього підходу дозволило створити ряд ефективних інтелектуальних систем, зокрема і таких, які створюють передумови для прийняття раціональних управлінських рішень [7].

Формулювання мети статті

Метою статті є формалізація задачі прийняття оптимального управлінського рішення при оцінці інвестиційних пропозицій в девелопменті з

використанням математичного апарату теорії несилової взаємодії, як задачу прийняття із можливих альтернатив такого рішення, яке забезпечить максимальну доходність інвестованих коштів.

Виклад основного матеріалу

Система оцінки інвестиційних пропозицій в девелопменті (СОІП) повинна за вхідними даними, наприклад, розміщення земельної ділянки, її

$$1. \forall R_j \ p(\Delta S^+ \geq S_0 / R_j) = p^{ou}(\Delta S^+ \geq S_0 / R_j); \quad (2.2)$$

$$2. \forall R_j \exists R_i \ p(\Delta S^+ \geq S_0 / R_j) \geq p(\Delta S^+ \geq S_0 / R_i) \Rightarrow \Rightarrow p^{ou}(\Delta S^+ \geq S_0 / R_j) \geq p^{ou}(\Delta S^+ \geq S_0 / R_i), \quad (2.3)$$

вартість, умови аренди, підведення електрики, наявність джерел води та тепла, об'єкти інфраструктури навколо земельної ділянки і т.ін. запропонувати таке рішення, для якого виконуються умови

де S_0 – мінімально допустима величина прибутку від девелоперського проекту (як матеріального, так і не матеріального); $p^{ou}(\Delta S^+ \geq S_0 / R_j)$ – розрахована в СОІП імовірність отримати прибуток від девелоперського проекту не менше S_0 , якщо було прийняте рішення $R_j \in R$; $p^{ou}(\Delta S^+ \geq S_0 / R_i)$ – розрахована в СОІП імовірність отримати прибуток від девелоперського проекту не менше S_0 , якщо було прийняте рішення $R_i \in R$.

У табл. 1 наведено приклад опису інвестиційної пропозиції. Значення кожного параметру опису впливає в тій чи іншій мірі на особу, що приймає рішення в девелопменті.

Таблиця 1

Приклад опису інвестиційної пропозиції

№	Параметр	Значення
1	Тип об'єкта	Житлова нерухомість
2	Характеристика земельної ділянки	Прямокутна
3	Площа земельної ділянки	20 га
...
X	Орієнтовна вартість	20000000
X+1	Клас житлової нерухомості	Еліт
...
K	Компанія-ініціатор	Ретро

Така постановка задачі подібна до тієї, яка вже давно відома в біології і пов'язана з виробленням рефлексів у живих істот. Система оцінки інвестиційних пропозицій також повинна виробляти відповідну зовнішнім впливам (параметрам предметної області девелопменту – її чинникам впливу на систему) реакцію. При цьому реакція

повинна бути найбільш імовірною для існуючих впливів.

У основі рефлексів лежить така теза: якщо це вже було, і деяка реакція була позитивно підкріплена (відповідала потребам), то необхідно зробити те ж саме. Правило Д.Хебба, застосовне при створенні систем штучного інтелекту на формальних нейронах, співзвучно цій тезі: між двома одночасно збудженими нейронами, при позитивному підкріпленні, синаптична вага збуджуючого зв'язку збільшується [8]. Це правило забезпечує навчання систем на формальних нейронах, вироблення в таких системах потрібних рефлексів.

Приклад вибору рішення на основі оцінки результатів попередніх дій (на кшталт рефлексам в живій природі) показано в табл. 2.

Таблиця 2

Прийняття рішення на основі оцінки результатів попередніх проектів в девелопменті

Проект	Оцінка результатів проекту (прибутку)
R_1	S_1
R_2	S_2
...	...
R_i	S_i
...	...
R_m	S_m

Тоді, при прийнятті рішення, повинне вибиратися таке, яке має найвищу оцінку:

$$R_i = \{R_{i0} \mid R_{i0} \in R \wedge S_{i0} = \max_i (S_i)\}, \quad (1)$$

де R – множина рішень СОІП; S_{i0} – оцінка результату рішення $R_{i0} \in R$ СОІП.

На практиці в девелопменті неможливо охопити всі зовнішні дії, які склалися в той або інший момент часу. Таким чином, рішення, що повторюється, вже може і не дати звичний результат. Точніше, той самий результат (оцінка рішення) може бути, а може і не бути. Тоді можливість отримати очікуваний результат потрібно приписати через деяку імовірність (табл.3):

$$p_i \approx l_i / k_i, \quad (2)$$

де p_i – імовірність того, що рішення $R_{i0} \in R$ дасть потрібний результат; l_i – кількість девелоперських проектів, в яких потрібний результат було отримано; k_i – загальна кількість девелоперських проектів.

Якби всі інвестиційні пропозиції в девелопменті були стереотипними, то для розв'язання задачі вибору рішення з найвищою оцінкою можна було б скористатися формулою (2), але це не так. У девелопменті рідко бувають пропозиції, що повторюються, а дуже часто абсолютно нові. Але навіть в новій пропозиції можна знайти деякі комбінації параметрів, які вже зустрічалися, і не раз. Як вирішити це завдання?

Таблиця 3

Частота прийняття успішного рішення в девелопменті

Рішення	Скільки разів рішення було успішним	Скільки разів приймалось це рішення
R_1	l_1	k_1
R_2	l_2	k_2
...
R_i	l_i	k_i
...
R_m	l_m	k_m

Для цього треба «розкласти інвестиційну пропозицію» на кластери, які можуть повторюватися, але в сукупності вони ще не зустрічалися або зустрічалися настільки невелику кількість разів, що точно визначити, що призводить до позитивного результату практично неможливо.

Математична постановка завдання виглядає так:

1. Нова інвестиційна пропозиція в девелопменті розкладається на кластери, які містять параметри:

$$X = \{x_i\}, i = \overline{1, q},$$

де X – нова інвестиційна пропозиція в девелопменті; x_i – стереотипна (така, що часто повторюється) комбінація параметрів інвестиційної пропозиції; q – кількість кластерів.

2. За частотою успішних проектів можна визначити приблизні значення ймовірності кожного з рішень за умови, що зустрічається стереотипна комбінація параметрів інвестиційної пропозиції:

$$\forall R_j \in R, x_i \in X: p(R_j / x_i) \approx n(R_j / x_i),$$

де $n(R_j / x_i)$ – частота прийняття рішення R_j за умови, що параметр x_i в інвестиційній пропозиції в девелопменті був наявний; $p(R_j / x_i)$ – ймовірність прийняття рішення R_j за умови, що параметр x_i в інвестиційній пропозиції в девелопменті був наявний.

3. Для кожного рішення R_j за його безумовною ймовірністю $p(R_j)$ і окремими умовними ймовірностями $p(R_j / x_1), \dots, p(R_j / x_i), \dots, p(R_j / x_q)$ необхідно оцінити спільну умовну ймовірність $p(R_j / x_1, \dots, x_i, \dots, x_q) = p(R_j / X)$.

Методами теорії ймовірності вирішити завдання знаходження спільної умовної ймовірності лише за окремим умовним і безумовним, неможливо. Потрібні ще й апостеріорні ймовірності. Але завдання побудови раціональної системи оцінки девелоперської пропозиції формулюється не як «знайти спільну умовну ймовірність за окремими умовними ймовірностями», а як «оцінити спільну умовну ймовірність за окремими умовними ймовірностями». Тобто система оцінки спільної умовної ймовірності за окремими умовними ймовірностями, з ймовірністю, близькою до 1, дозволить вибирати ту ж реакцію, яка була б вибрана і за спільної умовної ймовірності (1). Тобто

$$\forall R_k \in R \exists R_j \in R: p(\eta_M(R_j / X) \geq \eta_M(R_k / X) / p(R_j / X) \geq p(R_k / X)) \rightarrow \min, \quad (3)$$

де $\eta_M(R_j / X)$ – оцінка спільної умовної ймовірності рішення R_j відносно інвестиційної пропозиції X , отримана в системі оцінки інвестиційних пропозицій M ; $\eta_M(R_k / X)$ – оцінка спільної умовної ймовірності рішення R_k відносно інвестиційної пропозиції X , отримана в системі оцінки інвестиційних пропозицій M ; $p(\eta_M(R_j / X) \geq \eta_M(R_k / X) / p(R_j / X) \geq p(R_k / X))$ – умовна ймовірність того, що якщо умовна ймовірність вибору рішення R_j максимальна, то і оцінка спільної умовної ймовірності рішення R_j максимальна.

Вираз (3) у виділеній області застосування означає наступне: якщо спільна умовна ймовірність деякого рішення максимальна, то максимальна і її оцінка. Оптимальна система оцінки інвестиційних пропозицій завжди дає найвищу оцінку найбільшій спільної умовної ймовірності, бо ймовірності рішень завжди співпадають.

Для оцінки ефективності системи оцінки інвестиційної пропозиції M , значення $p(R_j / X), p(R_j / x_1), \dots, p(R_j / x_i), \dots, p(R_j / x_q)$ можна отримати дослідним шляхом. Оцінка умовної ймовірності – це продукт системи оцінки інвестиційної пропозиції. Відповідно відхилення значення виразу (3) від 1 буде критерієм ефективності методу оцінки спільної умовної вірогідності по частковим:

$$1 - p(\eta_M(R_j / X) \geq \eta_M(R_k / X) / p(R_j / X) \geq p(R_k / X)) \rightarrow \min, \text{ при обмеженнях:}$$

- $X = \{x_i\}, i = \overline{1, q}.$
- $R = \{R_k\}, k = \overline{1, m}.$
- $\forall R_k \in R: p(R_k / x_1), \dots, p(R_k / x_i), \dots, p(R_k / x_q).$
- $\forall R_k \in R \exists R_j \in R: p(R_j / X) \geq p(R_k / X).$
- $\forall R_k \in R: p(R_k / x_1), \dots, p(R_k / x_i), \dots, p(R_k / x_q) \xrightarrow{M} \eta_M(R_k / X),$

де M – система оцінки інвестиційної пропозиції (СОІП).

Оскільки в даній інтерпретації, процес прийняття рішення можна представити як процес визначення найбільш значних інформаційних впливів на ОПР. Розглянемо можливість застосування підходу, що базується на математичному апараті теорії несилової взаємодії.

Авторами було проведено статистичний аналіз впливу різноманітних чинників на прийняття рішень з оцінки інвестиційних пропозицій в девелопменті. У процесі аналізу було показано, що відхилення умовної від абсолютної імовірності, а також від умовних ймовірностей свідчить про існування несилової (інформаційної) дії на об'єкти і процеси прийняття рішень.

Така постановка задачі вперше була виконана академіком Колмогоровим в алгоритмічній теорії інформації. На цій основі було розроблено математичний апарат теорії несилової взаємодії [6]. Скористаємось цим апаратом для розробки моделі прийняття рішень у процесі оцінки інвестиційних пропозицій.

Якщо у предметній області девелопменту є об'єкти чи процеси, що характеризуються несиловими (інформаційними) діями на прийняття рішення $b_j \in B, j = \overline{1, n}$, то в СОІП це рішення вибирається з імовірністю p_j . Необхідно оцінити імовірність p_Σ прийняття рішення для інвестиційної пропозиції в девелопменті R_0 , яка визначається всіма впливами, що входять у B .

Формалізуємо постановку завдання. Про що свідчить різниця в імовірностях прийняття рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті R_0 ? Що в системі S під впливом різноманітних чинників на ОПР «його думка» (внутрішня організація) змінилася таким чином, що вибір рішення R_0 тепер реалізується з імовірністю p_j .

Міра несилової дії $b_j \in B, j = \overline{1, n}$ відображає різницю у визначеності та інформованості «до» і «після» змін у ОПР. Можна стверджувати, що причиною зміни $p_0 \rightarrow p_j$ є зміна визначеності та інформованості

$$d_0 \rightarrow d_j \wedge i_0 \rightarrow i_j,$$

де p_0 – імовірність прийняття рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті R_0 ; d_0 – визначеність прийняття рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті R_0 ; i_0 – інформованість прийняття рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті R_0 ; d_j – визначеність прийняття рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті R_0 , яка сформована впливом $b_j \in B$; i_j – інформованість, яка відповідає визначеності d_j ; p_j – імовірність прийняття рішення з інвестиційної

пропозиції в девелопменті R_0 задана всіма впливами $b_j \in B$.

При цьому з [6]

$$d_0 \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{p_0}{1-p_0} + \frac{1-p_0}{p_0}} - 2; i_0 = \frac{0,5}{\sqrt{p_0 \cdot (1-p_0)}};$$

$$d_j \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{p_j}{1-p_j} + \frac{1-p_j}{p_j}} - 2; i_j = \frac{0,5}{\sqrt{p_j \cdot (1-p_j)}}.$$

Необхідно знайти перехід від різниці у визначеності прийняття рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті R_0 у випадку, коли є компонент $b_j \in B$ до визначеності прийняття рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті R_0 , що задається всіма компонентами, що входять в множину B [6]:

$$\forall d_j, i_j : d_0 \rightarrow d_\Sigma \wedge i_0 \rightarrow i_\Sigma \Rightarrow p_\Sigma = 0,5 + \frac{d_\Sigma}{2_\Sigma},$$

де d_Σ – визначеність прийняття рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті R_0 , яка сформована всіма впливами $b_j \in B$; i_Σ – інформованість, яка відповідає визначеності d_Σ ; p_Σ – імовірність прийняття рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті R_0 при впливах $b_j \in B$.

Розглянемо рішення цієї задачі на прикладі. Нехай в деякій системі ОПР схильний прийняти деяке рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті X з імовірністю $p(X) = 0,2$. Якщо параметрами табл.1 будуть значення Y, C і D (окремо), то ця імовірність дорівнює $p(X/Y) = 0,1$, $p(X/C) = 0,8$ і $p(X/D) = 0,15$. Необхідно оцінити $p(X/YCD)$ (коли є всі ці значення в табл. 1).

У цій задачі необхідно за окремими умовними імовірностями і безумовній імовірності прийняти рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті. Перше питання, на яке треба відповісти, пов'язане з представленням умовних і безумовних імовірностей в атрибутах математичної моделі, викладеної вище.

Зміна імовірності прийняття рішення з інвестиційної пропозиції в девелопменті X , це результат несилового впливу чинників, що відображаються значеннями Y, C , і D на ОПР, що формує рішення з інвестиційної пропозиції X в девелопменті. Цей вплив призводить до зміни визначеності на величину $\Delta d(X)$ у нього за інвестиційною пропозицією X в девелопменті. Оскільки в цьому прикладі мова йде про несиловий (інформаційний) вплив компонентів запиту на вибір рішення, то для вирішення завдання скористаємось математичним апаратом теорії несилової взаємодії для побудови моделі оперування числовими значеннями цієї дії на процес прийняття рішень. Скористаємось алгоритмом розрахунку величини несилової дії, наведеним в роботі [6].

1. Обчислимо визначеності, що формують наведені імовірності (результат несилової дії) :

$$p(X) < 0,5 \Rightarrow d(X) = -0,5 \cdot \sqrt{\frac{0,2}{1-0,2} + \frac{1-0,2}{0,2}} - 2 = -0,75;$$

$$p(X/Y) < 0,5 \Rightarrow d(X/Y) = -0,5 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{1-0,1} + \frac{1-0,1}{0,1}} - 2 = -1,333;$$

$$p(X/C) > 0,5 \Rightarrow d(X/C) = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{0,8}{1-0,8} + \frac{1-0,8}{0,8}} - 2 = 0,75;$$

$$p(X/D) < 0,5 \Rightarrow d(X/D) = -0,5 \cdot \sqrt{\frac{0,15}{1-0,15} + \frac{1-0,15}{0,15}} - 2 = -0,98.$$

2. Обчислимо інформованості, відповідні знайденим визначеностям:

$$i(X) = \sqrt{(-0,75)^2 + 1} = 1,25;$$

$$i(X/Y) = \sqrt{(-1,333)^2 + 1} = 1,667;$$

$$i(X/C) = \sqrt{(0,75)^2 + 1} = 1,25;$$

$$i(X/D) = \sqrt{(-0,98)^2 + 1} = 1,4.$$

3. Обчислимо сумарний, по всіх чинниках, приріст визначеності дії на вибір рішення X .

$$\Delta d^P = i(X) \cdot (d(X/Y) + d(X/C) + d(X/D)) - d(X) \cdot (i(X/Y) + i(X/C) + i(X/D));$$

$$\Delta d^P = 1,25 \cdot (-1,333 + 0,75 - 0,98) + 0,75 \cdot (1,667 + 1,25 + 1,4) = 1,284.$$

4. Обчислимо приріст інформованості системи, що оцінює девелоперську пропозицію

$$\Delta i^P = \sqrt{(\Delta d^P)^2 + 1} = \sqrt{1,284^2 + 1} = 1,627.$$

5. Обчислимо нове значення визначеності дії системи

$$d_{\Sigma}^P = \Delta d^P \cdot i(X) + d(X) \cdot \Delta i^P = 1,284 \cdot 1,25 - 0,75 \cdot 1,627 = 0,384.$$

6. Обчислимо нову інформованість системи відносно прийняття рішення з інвестиційної пропозиції X в девелопменті

$$i_{\Sigma}^P = \sqrt{d_{\Sigma}^{P^2} + 1} = \sqrt{0,384^2 + 1} = 1,07.$$

7. Обчислимо імовірність прийняття рішення з інвестиційної пропозиції X в девелопменті

$$p^P(X/YCD) = 0,5 + \frac{0,384}{2 \cdot 1,07} = 0,679.$$

Вона збільшилася, що свідчить про те, що можливість прийняття рішення з інвестиційної пропозиції X в девелопменті стала більше. Спільна дія чинників (на зразок представлених в табл. 1) Y , C і D створює передумови того, що інвестиційна пропозиція X в девелопменті буде прийнята. Два з цих чинників, Y і D зменшують можливість вибору X . Причому чинник D дуже сильно, а чинник C - збільшує дуже-дуже сильно. Сумарний вплив Y і D менший, ніж вплив одного C .

Висновки

Розроблено науково-методичний базис дослідження. Виконано вибір базової концепції досліджень, яка включає в себе понятійні категорії теорії несилової взаємодії.

На основі статистичних характеристик чинників, що впливають на прийняття рішень з оцінки інвестиційних пропозицій розроблена математична модель оцінки і вибору рішень з інвестиційних пропозицій, в основі якої лежить математичний апарат теорії несилової взаємодії. Використовуючи розроблену модель, запропоновано методи вибору рішень з прийняття чи відхилення інвестиційних пропозицій. Наведено приклад застосування розробленої моделі для прийняття рішень з інвестиційних пропозицій в девелопменті.

Список літератури

1. D. Northcott, *Capital Investment Decision-Making*. - L.: The Dryden Press. 1997. - 175 с.
2. W. V. Grembergen, *Information Technology Evaluation Methods and Management*. - E.: Idea Group Publishing. 2001. - 280 с.
3. D. Allen, *Economic evaluation of projects*. - SC.: IChemE. 1991. - 193 с.
4. J.W. Renkema, E.W. Berghout, *Methodologies for information systems investment evaluation at the proposal stage*. - E: Eindhoven. 1995. - 205 с.
5. Ю.М. Тесля, П.В. Каюк, М.Л. Чернова. Застосування рефлексорного підходу до побудови інтелектуальних систем оцінки інвестиційних пропозицій// Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини №73. Всеукраїнський збірник наукових праць. Київ: 2009. - С. 82-87.
6. Ю.М. Тесля. Введение в интроформатику природы/Юрий Тесля// Монография. - К: Маклаут, 2010. - 255 с.
7. С.В. Білощицька, М.М.Олексієнко, О.М.Курілко, Ю.О.Остапчук, Застосування математичного апарату теорії несилової взаємодії до побудови систем підготовки прийняття рішень управління проектами// Управління розвитком складних систем №4. Науково-технічний збірник. Київ: 2011. - С.31-35.
8. Искусственный интеллект: Кн.1.: Системы общения и экспертные системы: Справочник. / Под редакцией Э.В. Попова// - М.: Радио и связь, 1990. - 463 с.

Стаття надійшла до редколегії 15.07.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Сидоренко, Інститут радіофізики та електроніки НАН України, Харків