

УДК 519.86+330.14+004.032.26

Роїк О.М., д.т.н., проф.; Азарова А.О., к.т.н., доц.; Кілимник Л.А. асп.
РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА МЕТОДУ ОЦІНКИ РІВНЯ
РИЗИКУ СТРУКТУРИ КАПІТАЛУ ЗАСОБАМИ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ
ХОПФІЛДА

DESIGN OF MATHEMATICAL MODEL AND METHOD OF CAPITAL
STRUCTURE RISK ESTIMATION ON THE BASIS OF NEURAL HOPFIELD
NETWORK

Розроблено математичну модель оцінки рівня ризику структури капіталу з використанням системного підходу. Запропоновано відповідний метод оцінювання ризику структури капіталу засобами нейронної мережі Хопфілда.

Реалізовано комп'ютерним шляхом складений математичний метод на базі апарату нейронної мережі Хопфілда на прикладі співвідношення власного і залученого капіталу ДП “Тульчинське лісомисливське господарство”.

The mathematical model of risk estimation of capital structure is designed with the use of systems approach. The method of capital structure risk evaluation is offered on the basis of neural Hopfield network.

The mathematical method on the basis of Hopfield neural network is realized by computer on the example of structure capital of DP “Tul'chinske lisomislivske enterprises”.

Ключові слова: *нейронна мережа Хопфілда, залучений капітал, власний капітал, капітал, структура капіталу, оптимізація капіталу.*

Key words: *Hopfield neural network, attracted assets, property, capital, capital structure, optimization of capital.*

Актуальність теми дослідження

Негативний вплив світової економічної кризи на внутрішньовиробничі процеси вітчизняних підприємств потребує від власників та фінансових менеджерів підвищувати ефективність управління, точність контролю та

своєчасність коригування структури капіталу підприємства, оскільки його оптимальне значення дозволяє отримувати максимальний прибуток, високі рентабельність і фінансову стійкість, показники ліквідності й платоспроможності.

Необхідно зазначити, що проблема ефективного управління капіталом підприємства висвітлюється у працях таких провідних науковців, як: Бланк І.О., Ісмаїлов В.Б., Бодаковський В.Ю., Забаштанський М.М., Буряк П.Ю., Воробйов Ю.М., Ананьєв О.М., Довбиня С.Б., Ковзель К.А. та багатьох ін. Вони вважали, що метою управління капіталом, як власним так і залученим, є підвищення рентабельності і, як наслідок, збільшення прибутку підприємств. А при досягненні цієї мети вони визначали різні цілі управління фінансовою діяльністю:

- уникнення фінансових втрат (прибутку, доходу, капіталу);
- максимізація “ціни підприємства” через зростання курсової вартості акцій;
- зростання обсягів виробництва і реалізації (продажу) продукції (товарів);
- максимізація прибутку і мінімізація витрат;
- забезпечення достатнього рівня дохідності активів, власного капіталу.

Запорукою успішного функціонування підприємства є зростання обсягу виробництва і реалізації продукції.

В останні роки найбільш поширеною стала теорія максимізації ціни підприємства. Проте послідовники цієї теорії не розглядають такі показники, як обсяг продажу, прибуток, рентабельність, показники, що вимірюють ефективність фінансового управління.

Отже, механізм управління діяльністю підприємства і складовими капіталу повинен спиратися на обрані категорії, але при цьому останні мають бути достатньо обґрунтованими, враховувати доходи власників підприємства, а також джерела власних коштів як для фінансування програм розвитку, так і для

виплати дивідендів.

Це зумовлює різні цільові функції оптимізації структури капіталу. Різновекторність функцій оптимізації та відсутність підходів, що дозволяють врахувати широкий спектр оцінювальних показників, динамічне оптимізаційне середовище за умов кризи, спричиняють необхідність розробки математичної моделі та відповідного комп'ютеризованого засобу.

Постановка задачі

Передумовою процесу оцінювання структури капіталу є реальне вивчення показників фінансово-господарської діяльності підприємства.

Оскільки не існує єдиного підходу до визначення оптимального співвідношення власного та залученого капіталу через наявність різних цілей підприємства, це зумовлює відповідно різні засоби до управління нею. Тому для уніфікації існуючих підходів та усунення їх недоліків слід розробляти нові концептуальні підходи до оцінки структури капіталу підприємства.

Отже, однією з основних задач даної статті є розробка математичної моделі оцінки рівня ризику співвідношення власного та залученого капіталу засобами системного та декомпозиційного підходів, що дозволяє підвищити точність та гнучкість такого процесу за умов кризових явищ в економіці України.

Одним із найбільш потужних математичних інструментаріїв для розв'язку класифікаційних задач в економіці, зокрема фінансовому менеджменті, є нейронні мережі, нечітка логіка, порогові елементи, генетичні алгоритми тощо. Однак нечітка логіка є потужним апроксиматором і засобом розв'язку класифікаційних задач за умов необхідності обробки якісної та неповної інформації, що не є визначальною рисою кількісних оцінок рівнів ризику співвідношення власного та залученого капіталів. Порогові елементи є занадто громіздким апаратом для цієї задачі та дорогим, оскільки вимагає суттєвих часових витрат на обробку експертами рангових значень показників. У свою

чергу, генетичні алгоритми є потужним засобом у розв'язку оптимізаційних задач, проте автори статті на цьому етапі вирішують лише задачу ідентифікації ризику структури капіталу підприємства. Наступна оптимізація можливої нерациональної структури капіталу є перспективним завданням подальших досліджень.

Зважаючи на обраний авторами критерій ефективності фінансового рішення, що приймається, а саме підвищення його точності та мінімізація часових і грошових витрат на таку процедуру, найбільш доцільним є апарат нейронних мереж [1]. Він дозволяє за обмеженою кількістю еталонів, використовуючи нейромережевий метод “без учителя”, зокрема мережу Хопфілда, відображати вхідний образ, що є кодованими значеннями оцінювальних параметрів структури капіталу, на множину можливих рівнів ризику R_j ($j = \overline{1,3}$).

У статті автори пропонують відповідний математичний апарат, що дозволяє ефективно приймати фінансове рішення засобами нейронної мережі Хопфілда. За критерій ефективності обрано мінімальні часові та грошові витрати, а також точність прийнятого рішення про ризикованість досліджувальної структури капіталу.

Розробка математичної моделі оцінки рівня ризику структури капіталу

Математичну модель оцінювання рівня ризику структури капіталу підприємства автори пропонують такою:

$$D = (X^c, F_1, X, F_2, R_j), \quad (1)$$

$$R_j = F_2(x_i), \quad (j = \overline{1,3}), \quad F_2 = (f_i), \quad (i = \overline{1,5}), \quad X = (x_i), \quad (2)$$

$$x_1 = f_1(x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^n), \quad (3)$$

$$x_2 = f_2(x_2^1, x_2^2, \dots, x_2^k), \quad (4)$$

$$x_3 = f_3(x_3^1, x_3^2, \dots, x_3^l), \quad (5)$$

$$x_4 = f_4(x_4^1, x_4^2, \dots, x_4^m), \quad (6)$$

$$x_5 = f_5(x_5^1, x_5^2, \dots, x_5^s), \quad (7)$$

$$X^c = (x_i^c), \quad (c = \overline{1, C}), \quad n, k, l, m, s \in C, \quad (8)$$

$$X^c \xrightarrow{F_1} X \xrightarrow{F_2} R_j, \quad (9)$$

де R_j – рівень ризику структури капіталу підприємства;

x_i^c – первинні показники, що слугують для визначення x_i ;

x_i – оцінювальні параметри структури капіталу;

F_1 – функція відображення множини первинних показників x_i^c на множину коефіцієнтів x_i ;

F_2 – функція відображення множини коефіцієнтів x_i на множину рішень R_j рівня ризику структури капіталу підприємства.

Розробка математичного методу оцінки рівня ризику структури капіталу засобами нейронної мережі Хопфілда

Здійснення формалізації математичної моделі, описаної залежностями (1)-(9), автори обґрунтували вище засобами нейронної мережі Хопфілда. Структуру її представимо нейронною мережею із входами z_p , ($p = \overline{1, 10}$), що являють собою бінарні коди (1 та -1) значень x_i , ($i = \overline{1, 5}$), та виходами, що являють собою значення ризиків структури капіталу – R_j ($j = \overline{1, 3}$):

1. R_1 – мінімальний рівень ризику: співвідношення власного та залученого капіталу є доцільним;

2. R_2 – середній рівень ризику: співвідношення власного та залученого

капіталу можливе в разі застосування методів зниження ризику;

3. R_3 – високий рівень ризику: співвідношення власного та залученого капіталу є недоцільним.

У математичній моделі (1) – (9) авторами було запропоновано використовувати такі оцінювальні параметри: коефіцієнт Бівера (x_1), коефіцієнт покриття (x_2), коефіцієнт фінансового ризику (x_3), коефіцієнт рентабельності власного капіталу (x_4), коефіцієнт обіговості кредиторської заборгованості (x_5). Вибір такої множини параметрів було здійснено за критеріями повноти, мінімізації (відсутність колінеарності, кореляційних зв'язків) та дієвості.

Таким чином, дана модель використовує 5 вхідних оцінювальних параметрів x_i , що набувають значень у різних межах, проте мережа Хопфілда працює з числовими значеннями “1” та “-1” [3], тому після отримання рівнів показників (В, С, Н), для застосування цієї мережі при побудові методу автори пропонують здійснити кодування значень показників звичайним двійковим кодом (табл. 1).

Таблиця 1

Кодування рівня оцінювальних параметрів x_i

Рівень оцінювального параметру	Код для мережі Хопфілда
Низький рівень параметра	-1-1
Середній рівень параметра	-1 1
Високий рівень параметра	1 1

Отже, формат коду повинен складатися із двох цифр, що дозволяє закодувати 4 ($2^2=4$) лінгвістичних значення параметру x_i , а потреба полягає у кодуванні лише трьох (низький, середній, високий).

Нейронна мережа Хопфілда дозволяє виконати співставлення образу вхідного вектора $Z = (z_p)$, ($p = \overline{1,10}$) з найближчим еталонним вектором, що

описує конкретне співвідношення R_j ($j = \overline{1,3}$) власного і залученого капіталів відповідного суб'єкта господарювання.

На першому етапі визначаються j діапазонів значень змінення оцінювальних параметрів x_j , кількість яких ($j = 3$) співпадає з кількістю оцінок ризику структури капіталу на виході мережі. Це зумовлює достатній з економічної точки зору рівень точності фінансового рішення, що приймається.

На базі експертного методу парних порівнянь Сааті було обґрунтовано граничні значення оцінювальних показників, згідно з якими можна розбити інтервал значень кожного з 5 оцінювальних параметрів на три діапазони: Н – низький, С – середній та В – високий характеристичний рівень оцінювального параметру x_j (табл. 2).

Таблиця 2

Діапазони зміни оцінювальних параметрів x_j

Параметр	Назва оцінювального параметру	Діапазони	Характеристичний рівень оцінювального параметра
x_1	Коефіцієнт Бівера	$[0,41 - \infty)$ $[0,21 - 0,4)$ $[0 - 0,2)$	Низький Середній Високий
x_2	Коефіцієнт покриття	$[2 - \infty)$ $[1 - 2)$ $[0 - 1)$	Високий Середній Низький
x_3	Коефіцієнт фінансового ризику	$[0 - 0,5)$ $[0,5 - 1]$ $(1 - \infty)$	Низький Середній Високий
x_4	Коефіцієнт рентабельності власного капіталу	$[8 - \infty)$ $[2,5 - 8)$ $[0 - 2,5)$	Високий Середній Низький
x_5	Коефіцієнт обіговості кредиторської заборгованості	$[10 - \infty)$ $[3 - 10)$ $[0 - 3)$	Високий Середній Низький

За допомогою експертних даних та спектрального методу обробки експертної інформації [4] було обґрунтовано 9 еталонних образів для нейронної мережі, які відображають специфіку трьох рівнів ризику структури капіталу

R_j ($j = \overline{1,3}$) (табл. 3).

Таблиця 3

Еталонні зразки для визначення рівнів ризику структури капіталу R_j ($j = \overline{1,3}$)

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	R
-1 -1	1 1	-1 -1	1 1	1 1	R_1
-1 -1	-1 1	-1 -1	1 1	1 1	
-1 -1	-1 1	-1 -1	1 1	-1 1	
-1 1	-1 1	-1 -1	1 1	-1 1	R_2
-1 1	-1 1	-1 1	-1 1	-1 1	
-1 1	-1 -1	-1 1	-1 1	-1 1	
1 1	-1 -1	1 1	-1 -1	-1 1	R_3
1 1	-1 -1	1 1	-1 -1	-1 1	
1 1	-1 -1	1 1	-1 -1	-1 -1	

На останньому етапі роботи нейронної мережі Хопфілда відбувається процес співставлення вхідного вектора Z , що характеризує наявне співвідношення власного та залученого капіталу на підприємстві, з 9 еталонними зразками, по 3 набори яких описують кожен з трьох R_j стратегій. Це дозволяє визначити найбільш типовий еталонний образ, що дозволяє прийняти рішення щодо того, яким рівнем ризику характеризується структура капіталу.

Таким чином, автори пропонують такий метод оцінки ризику структури капіталу підприємства на базі нейронної мережі Хопфілда [2].

1. На вхід математичної моделі подаються значення первинних показників x_i^c , які використовуються для розрахунку x_i , ($i = \overline{1,5}$), оцінювальних параметрів.

2. Значення розрахованих оцінювальних параметрів x_i співставляються з діапазонами значень, представленими у табл. 2, та описуються конкретним характеристичним рівнем (низький, середній, високий).

3. Характеристичному рівню (Н, С та В) оцінювального параметру x_i присвоюється відповідний двійковий код, запропонований у табл. 1, тобто формується образ (вхідний вектор), який складається з 10 цифр “1” та “-1”.

4. Нейронна мережа Хопфілда виділяє найбільш близький даному вектору еталон – ідеальний образ, серед тих, що описуються у табл. 3, який і видається на виході мережі.

5. Ідентифікується співвідношення власного та залученого капіталу, що відповідає цьому образу згідно з табл. 3, та відповідно приймається рішення щодо раціональності даного співвідношення.

Кроки 4 і 5 запропонованого алгоритму було реалізовано за допомогою математичного пакету MathLab 7.0, який має велику кількість засобів і можливостей розв’язку обчислювальних задач у різних областях людської діяльності, зокрема у фінансовій.

Практичне застосування даної математичної моделі

Скористаємося складеною математичною моделлю та відповідним методом для оцінки рівня ризику структури капіталу державного підприємства “Тульчинського лісомисливського господарства”.

1. На вхід математичної моделі подамо значення первинних показників x_i^c , які використовуються для розрахунку x_i ($i = \overline{1,5}$) оцінювальних параметрів (табл. 4).

Таблица 4

Значення первинних показників

Позначення первинних показників																	
x_2^1	x_3^5 x_4^2	x_3^1	x_1^3 x_3^2	x_5^2	x_5^3	x_5^4	x_5^5	x_5^6	x_5^7	x_5^8	x_5^9	x_5^{10}	x_1^4 x_2^2 x_3^3	x_3^4	x_5^1	x_1^1 x_4^1	x_1^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Назва первинних показників																		
Оборотні активи	Власний капітал	Забезпечення наступних витрат і цільове фінансування	Довгострокові зобов'язання	Векселі видані	Кредиторська заборгованість за товари, роботи, послуги	Поточні зобов'язання з одержаних авансів	Поточні зобов'язання за розрахунками з бюджетом	Поточні зобов'язання з позабюджетних платежів	Поточні зобов'язання за розрахунками зі страхуванням	Поточні зобов'язання за розрахунками з оплати праці	Поточні зобов'язання з учасниками	Поточні зобов'язання із внутрішніх розрахунків	Поточні зобов'язання	Доходи майбутніх періодів	Собівартість реалізованої продукції	Чистий прибуток	Амортизація	
Код рядка, номер форми звітності первинних показників																		
р.260(ф.1)	р.380(ф.1)	р.430(ф.1)	р.480(ф.1)	р.520(ф.1)	р.530(ф.1)	р.540(ф.1)	р.550(ф.1)	р.560(ф.1)	р.570(ф.1)	р.580(ф.1)	р.590(ф.1)	р.600(ф.1)	р.620(ф.1)	р.630(ф.1)	р.040(ф.2)	р.220(ф.2)	р.260(ф.2)	
Значення первинних показників ДП "Гульчинське лісомисливське господарство"																		
892,7	184,75	0	0	0	598,5	0	626,05	0	105,45	234,4	0	0	2002,7	4	9937,1	334,1	260,4	Значення в тис. грн.

2. На базі залежностей (3)-(7) з використанням первинних показників, зазначених у табл. 4, розрахуємо значення оцінюваних параметрів x_i ($i = \overline{1,5}$).

$$x_1 = \frac{x_1^1 + x_1^2}{x_1^3 + x_1^4} \cdot x_1 = \frac{334,1 + 260,4}{0 + 2002,7} = 0,3,$$

$$x_2 = \frac{x_2^1}{x_2^2} \cdot x_2 = \frac{892,7}{2002,7} = 0,45,$$

$$x_3 = \frac{x_3^1 + x_3^2 + x_3^3 + x_3^4}{x_3^5} \cdot x_3 = \frac{0 + 0 + 2002,7 + 4}{184,75} = 10,85,$$

$$x_4 = \frac{x_4^1}{x_4^2} \cdot x_4 = \frac{334,1}{184,75} = 1,81,$$

$$x_5 = \frac{x_5^1}{x_5^2 + x_5^3 + x_5^4 + x_5^5 + x_5^6 + x_5^7 + x_5^8 + x_5^9 + x_5^{10}} \cdot$$

$$x_5 = \frac{9937,1}{0 + 598,5 + 0 + 626,05 + 0 + 105,45 + 234,03 + 0 + 0} = 6,35$$

3. За табл. 2 для державного підприємства “Тульчинського лісомисливського господарства” отримуємо такі лінгвістичні значення оцінювальних показників табл. 5.

Таблиця 5

Характеристичний рівень показників

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_i
середній	низький	високий	низький	середній	Оцінювальний параметр

Здійснимо кодування характеристичних рівнів, використовуючи табл. 3 і отримаємо такий вектор Z вхідних елементів z_p , ($p = \overline{1,10}$): [-1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1].

4. Прийняття рішення щодо оцінки рівня ризику структури капіталу в нейронній мережі Хопфілда автори пропонують здійснювати з використанням математичного пакету MathLab 7.0, фрагмент лістингу складеної програми наведено нижче:

```
T=[-1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1
-1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1
-1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 1
-1 1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 1
-1 1 -1 1 -1 1 -1 1 -1 1
```

```

-1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 1
1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1
1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1
1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1]’;
net=newHop (T);
X={[-1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1]’};
[a,b,c]=(net, {1 100}, {},X);
a{100}
ans = 1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1

```

Отже, на виході нейронної мережі Хопфілда отримано еталон, який описує співвідношення власного та залученого капіталів як R_3 , що свідчить про високий рівень ризику.

Висновки

Розроблені математична модель та метод дозволили виявити високий рівень ризику структуру капіталу ДП “Тульчинське лісомисливське господарство”, що в свою чергу є негативним моментом фінансово-господарської діяльності підприємства. Тому керівництву ДП “Тульчинське лісомисливське господарство” в найближчий період потрібно максимально зменшити величину залученого капіталу та водночас збільшити величину власного. Це можливе в тому випадку, коли підприємство почне нарощувати величину виробничих запасів із метою забезпечення нормального і безперебійного виробничого процесу, зменшувати собівартість одиниці продукції, налагоджувати розрахунки між дебіторами та кредиторами так, щоб не виникало проблем з оплатою. У результаті чого підприємство зможе вийти на менш ризиковане співвідношення власного та залученого капіталу.

Отже тоді, нове співвідношення власного та залученого капіталу сприятиме покращенню фінансово-економічного стану підприємства,

досліджуване підприємство стане більш фінансово стійким, ліквідним, платоспроможним і інвестиційно привабливим.

При реалізації математичного методу та моделі на базі апарату нейронної мережі Хопфілда було отримано такі результати:

1. Запропоновано математичну модель оцінювання ризикованості структури капіталу, яка дозволяє точно, з мінімальними часовими і грошовими витратами оцінити ризик співвідношення власного та залученого капіталу.

2. Підтверджено доцільність застосування нейронної мережі Хопфілда для оцінки ризику співвідношення власного і залученого капіталу.

3. Складено метод оцінювання ризику структури капіталу засобами нейронної мережі Хопфілда, який володіє рядом значних переваг перед існуючими альтернативними методами: точність оцінювання, врахування широкого спектру оцінювальних параметрів, швидкодія, здатність до самонавчання.

4. Використання запропонованих підходів дозволяє: усунути помилки при оцінюванні співвідношення капіталів, врахувати широку множину первинних показників, проводити одночасну оцінку ймовірності банкрутства, скоротити час на прийняття остаточного рішення щодо раціональності управління капіталом на підприємстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азарова А. О. Бершов Д. М. Моделювання системи підтримки прийняття рішень щодо оцінювання ефективності інвестиційних проектів на основі нечіткої логіки / А. О. Азарова, Д. М. Бершов // Механізм регулювання економіки. СумДУ. – 2006. – № 1. – С. 168–177.

2. Азарова А. О. Управління залученим капіталом на підприємстві / А. О. Азарова, І. А. Кілимник, Л. А. Кілимник, О. В. Новіцька // Матеріали V Міжнародної науково-теоретичної конференції молодих учених і студентів “Актуальні проблеми економічного та соціального розвитку виробничої сфери”.

– В 3-х томах. – Т. 1. – Донецьк: ДВНЗ “Донецький національний технічний університет”, 2008. – С. 9–10.

3. Крупка М. І., Кончаківський І. В., Скаско О. І. Роль системи оцінки ризиків (СОР) у забезпеченні стабільності комерційних банків України / М. І. Крупка, І. В. Кончаківський, О. І. Скаско // Фінанси України. – 2004. – № 9. – С. 100–104.

4. Тоценко В. Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. / В. Г. Тоценко – К.: Наукова думка, 2002. – 381 с.