

Ігор М. Пістунов, Дмитро С. Богач
**ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ СІТОК ДЛЯ ФОРМУВАННЯ
НИЗЬКОРИЗИКОВОЇ СТРАТЕГІЇ ТОРГІВЛІ
НА ФІНАНСОВИХ РИНКАХ**

У статті розглянуто основну проблему використання парної торгівлі в класичному вигляді. Наведено принцип відбору трійок акцій фондового ринку для подальшого формування портфеля акцій на основі групового коефіцієнта кореляції. Представлено приклад побудови нейронної сітки для визначення апроксимованої формули різниці середньозваженої денної зміни ціни трійки акцій та денної зміни значення індексу сектору, до якого належать обрані акції, на основі властивості автокореляції.

*Ключові слова: групова кореляція; нейронна сітка; портфель акцій; автокореляція.
Форм. 4. Рис. 1. Табл. 6. Літ. 15.*

Игорь Н. Пистунов, Дмитрий С. Богач
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НИЗКОРИСКОВОЙ СТРАТЕГИИ
ТОРГОВЛИ НА ФИНАНСОВЫХ РЫНКАХ**

В статье рассмотрена основная проблема использования парной торговли в классическом виде. Приведен принцип отбора троек акций фондового рынка для дальнейшего формирования портфеля акций на основе группового коэффициента корреляции. Представлен пример построения нейронной сети для определения аппроксимированной формулы разницы средневзвешенного дневного изменения цены тройки акций и дневного изменения значения индекса сектора, к которому относятся выбранные акции, на основе свойства автокорреляции.

Ключевые слова: групповая корреляция; нейронная сеть; портфель акций; автокорреляция.

Igor M. Pistunov¹, Dmytro S. Bogach²
**NEURAL NETWORKS APPLICATION FOR THE FORMATION
OF LOW-RISK TRADING STRATEGY AT FINANCIAL MARKETS**

The main problem of pair trading in its classical form is considered. The selection principles for the triples of shares at stock market for further formation of shares on the basis of group correlation coefficient is described. The example of building a neural network to determine an approximate formula of the difference in average daily change in the portfolio price of shares and daily change index, which describes the sector's state is shown, including the selected stocks on the basis of autocorrelation.

Keywords: group correlation; neural network; portfolio of shares; autocorrelation.

Постановка проблеми. Останнім часом завдяки значному підвищенню конкуренції в класичному арбітражі [3] і зниженню його ефективності актуалізується стрімке зростання популярності т.зв. «парного трейдингу». Його сутність полягає в торгівлі спредом двох висококорельованих активів [4], але всі методи парного трейдингу відомі з 1970-х рр., коли відбувся «бум» у поширенні хедж-фондів у світі [7]. З того часу ці самі фонди, використовуючи заздалегідь відомі алгоритми, іноді намагаються протидіяти торговим роботам трейдерів, що використовують парний трейдинг, або торгують самостійно. Це можливо завдяки примусовому збільшенню розбіжності в ціні висококореле-

¹ National Mining University, Dnipro, Ukraine.

² National Mining University, Dnipro, Ukraine.

льованих пар акції, що в подальшому призводить до неприйняттого ступеня ризику і торговець цінними паперами вимушений фіксувати збитки [5]. Тому постає питання модернізації системи торгівлі цінними паперами за принципами їх кореляції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У науковій економічній літературі на даний момент існує значна кількість публікацій, в яких автори представляють різні підходи до формування ефективної інвестиційної стратегії, в т.ч. із застосуванням методів парної торгівлі. Окремі аспекти цього знайшли своє відображення в роботах переважно зарубіжних вчених.

Проблемі практичної реалізації формування низькоризикових стратегій під час здійснення інвестиційної діяльності присвячено досить багато праць вчених-економістів: А. Дамодарана [7], Ю.Ф. Касімова [1], Г. Марковіца [12], У. Шарпа [2] та інших.

Але необхідно відзначити, що тема формування ефективної та низькоризикової торгової стратегії залишається недостатньо вивченою і вимагає пошуку нових шляхів оптимізації та застосування нових підходів до визначення взаємозалежностей на фінансових ринках.

Метою дослідження є розробка та опис методики використання нейронних сіток для формування низькоризикової стратегії торгівлі на світових фінансових ринках.

Основні результати дослідження. Відомо, що стан фондового ринку США визначають індекси, які складаються з цін на акції найбільшій компанії у кожному секторі [10]. Саме індекси і задають напрям руху переважної кількості компанії, які не мають суттєвої долі ринку. На цій залежності побудована переважна кількість портфельних теорій: теорія Шарпа, теорія Марковіца, теорія Тобіна, теорія Скоулза та інших [1]. На зв'язку поведінки ціни акції компанії та індексу економіки і засновується пропозиція модернізації алгоритму. Об'єднавши ідею формування портфеля цінних паперів і торгівлі групою акції, висунемо гіпотезу про те, що найбільш безпечною з огляду на ризик буде торгівля групами акції об'єднаних по 3 для кожного сектору економіки США, які мають між собою найбільший коефіцієнт кореляції. Вирішення подібної задачі вимагає чисельних досліджень та застосування статистичного пакету "Statistica".

Опишемо основні етапи утворення груп та визначення залежності ціни групи акції відносно індексу сектора економіки.

На першому етапі здійснюється відбір ліквідних інструментів, згідно яких найближчим часом не очікується фундаментальної або іншої інформації, здатній істотно змінити співвідношення між цінами, грошові кошти між інструментами розподіляються в рівній пропорції. Далі проводиться ретроспективний аналіз цінних співвідношень для вибраної групи паперів.

На другому етапі знаходимо акції з великим значенням групової кореляції.

Третім етапом є знаходження різниці середньозваженої денної зміни ціни трійки акцій та денної зміни значення індексу сектору, до якого належать обрані акції.

Четвертим і останнім етапом є знаходження апроксимованої формули розрахунку різниці середньозваженої денної зміни ціни та денної зміни значення індексу сектору на основі нейронних сіток.

Для прикладу було взято сектор сервісних послуг фондового ринку США, індустрія автопредставництв. Індексом стану сектору є DJUSCY, який розраховується з цін акцій компаній, що входять до індустрії, з певними вагами, в залежності від впливу компанії на ринку. Індекс характеризує загальну тенденцію у поведінці цін акцій. Проведення розрахунків відбувається за даними з 08.10.2014 по 07.10.2015, тобто за 252 торгових дні. Для найбільш ефективного пошуку комбінацій цінних паперів, що будуть формувати трійки акцій, проведемо розрахунок кореляційної матриці всіх акцій обраної індустрії, що задовольняють умовам ліквідності. Важливим є відсутність істотних цінових розривів, оскільки за їх наявності кореляція між цінними паперами може бути істотною, але насправді великий коефіцієнт буде зумовлений лише однаковим у часі «стрибком» ціни, а не справжньою залежністю, навіть якщо цінні папери належать до одного сектору економіки США та однієї індустрії. Необхідною умовою ліквідності є обсяг акцій, що торгувалися, за одну торгову сесію, що має бути не меншим 300 тис. од., це забезпечить практично нульову ймовірність «прослизань» при купівлю або продажу інструментів та можливість купівлі великої кількості акції, не порушуючи при цьому існуючих тенденцій. Зазвичай «прослизання» (можливість виконання ордерів по ціні, гіршій, ніж вказано в ордері) призводять до неконтрольованих збитків, які, на перший погляд, здаються незначними, але за значної інтенсивності торгівлі та роботі з великими обсягами починають ставати досить істотними.

При визначенні коефіцієнтів кореляції використовуємо ціни закриття, оскільки саме вони відображають думки професійних трейдерів про вартість активу. Якщо подивитися на будь-який ціновий графік у вигляді японських свічок, або барів, можна побачити, наскільки велика відмінність між ціною відкриття та закриття торгів. Зазвичай це відбувається тому, що професійні трейдери та початківці, яких переважна кількість, грають один проти одного. Наведемо кореляційну матрицю акції обраної індустрії.

Таблиця 1. Кореляційна матриця індустрії автопредставництв ринку США*

Auto Dealerships							
	AN	CPRT	KAR	KMX	LAD	PAG	GPI
AN	1.0	0.61	0.71	0.55	0.63	0.73	0.64
CPRT	0.61	1.0	0.83	0.87	0.83	0.79	0.93
KAR	0.71	0.83	1.0	0.9	0.92	0.78	0.81
KMX	0.55	0.87	0.9	1.0	0.97	0.72	0.82
LAD	0.63	0.83	0.92	0.97	1.0	0.86	0.89
PAG	0.73	0.79	0.78	0.72	0.86	1.0	0.87
GPI	0.64	0.93	0.81	0.82	0.89	0.87	1.0

* розраховано за даними [11].

З отриманих розрахунків бачимо, що у деяких паперів коефіцієнт кореляції становить більше 0,85, тому саме ці папери будуть використовуватися в подальших розрахунках та формуванні портфеля цінних паперів.

Розрахуємо груповий коефіцієнт кореляції для PAG, LAD та GPI за формулою:

$$R_{xyz} = \sqrt{\frac{r_{xy}^2 + r_{xz}^2 - 2 \times r_{xy} \times r_{xz} \times r_{yz}}{1 - r_{yz}^2}}, \quad (1)$$

де r_{xy} , r_{xz} , r_{yz} – відповідні коефіцієнти кореляції.

Значення коефіцієнта групової кореляції для даної трійки цінних паперів складає 0,909, що є прийнятним показником.

Дослідимо щоденні зміни ціни на акції обраних компаній та індексу сектора сервісних послуг з 08.10.2014 по 07.10.2015 за формулою:

$$d_{it} = \frac{P_{it} - P_{i(t-1)}}{P_{i(t-1)}} \times 100\%, \quad (2)$$

де P_{it} – поточна ціна закриття торгів; $P_{i(t-1)}$ – ціна закриття торгів за попередній період.

Отримані результати обчислень наведені у табл. 2.

Таблиця 2. **Денні зміни ціни акцій та індексу сектора, %, авторська розробка**

	d_{PAG}	d_{LAD}	d_{GPI}	d_{DJUSCY}
07.10.2015	0.50	-0.65	1.05	1.60
06.10.2015	-1.41	-2.80	-2.01	1.39
05.10.2015	2.09	1.63	2.93	0.60
04.10.2015	2.81	2.77	1.49	2.14
03.10.2015	0.74	0.66	-0.52	-0.43
02.10.2015	2.65	2.53	1.44	-2.87
...				
15.10.2015	0.72	-0.38	2.07	-0.08
14.10.2015	2.06	0.57	1.50	-0.91
13.10.2015	2.56	1.11	1.61	0.79
12.10.2015	1.22	4.97	1.94	-2.22
11.10.2015	0.77	3.16	0.59	-0.78
10.10.2015	-1,23	-2,72	-1,63	-1.89
09.10.2015	0.17	1.40	0.55	0.95
08.10.2014	-2.64	-2.38	-1.75	-0.67

На наступному етапі визначимо середньозважену денну зміну ціни 3 цінних паперів:

$$d_{сеп} = \frac{\sum_{n=1}^3 d_i \times P_i}{\sum_{n=1}^3 P_i}, \quad (3)$$

де d_i – денна зміна ціни у відсотках відповідного паперу; P_i – ціна закриття торгів за відповідним цінним папером.

Визначимо різницю між середньозваженими коливаннями трійки та денними коливаннями значення індексу сектора сервісних послуг.

Таблиця 3. Середньозважена денна зміна ціни трьох цінних паперів та її різниця у денних коливаннях значення індексу сектору сервісних послуг, %, авторська розробка

	$d_{сер}$	$d_{сер} - d_{djusc}$
07.10.2015	0.18	-1.42
06.10.2015	-2.24	-3.63
05.10.2015	2.18	1.58
04.10.2015	2.33	0.19
03.10.2015	0.26	0.69
02.10.2015	2.17	5.04
	...	
15.10.2015	0.84	0.93
14.10.2015	1.27	2.17
13.10.2015	1.62	0.83
12.10.2015	2.96	5.19
11.10.2015	1.61	2.39
10.10.2015	0.82	-0,13
09.10.2015	0.82	1,5
08.10.2014	-2.20	-1.52

Оскільки $(d_{сер} - d_{djusc})$ не має явно вираженого тренду, була висунута гіпотеза про те, що її варто шукати у вигляді автокореляційної функції. Результати обчислених за допомогою програми "Statistica" значень автокореляційної функції наведені у табл. 4.

Таблиця 4. Значення авто кореляційної функції, авторська розробка

	Автокореляція	Статистична помилка
ЛАГ 1	-0.007530	0.062744
ЛАГ 2	-0.260984	0.062618
ЛАГ 3	-0.000230	0.062493
ЛАГ 4	-0.150612	0.062366
ЛАГ 5	-0.069499	0.062240
ЛАГ 6	0.048202	0.062113
ЛАГ 7	0.051327	0.061987
ЛАГ 8	-0.056416	0.061859
ЛАГ 9	0.001637	0.061732
ЛАГ 10	0.080763	0.061604
ЛАГ 11	-0.044927	0.061476
ЛАГ 12	0.044082	0.061348
ЛАГ 13	0.014948	0.061220
ЛАГ 14	-0.068703	0.061091
ЛАГ 15	-0.004216	0.060962

З отриманих результатів бачимо, що існує слабкий зв'язок на другому та четвертому кроках. Це показує неможливість опису залежності лінійними методами регресійного аналізу, але це дозволить нам отримати залежність завдяки використанню нейронних сіток.

Для «навчання» нейронної сітки оберемо багат шаровий перцептрон з архітектурою 2-3-1, навчання буде відбуватися з використанням логістичної функції. Схема перцептрон зображена на рис. 1.

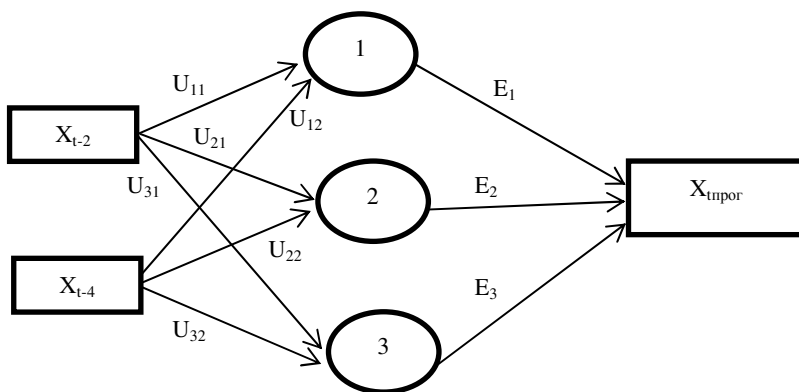


Рис. 1. Схема перцептрон, авторська розробка

Характеристики побудованих нейронних сіток наведено у табл. 5.

Таблиця 5. Характеристики нейронних сіток, авторська розробка

Архітектура	Продуктивність навчання	Помилка навчання	Функція активних прихованих нейронів	Функція активних прихованих нейронів
<i>MLP 2-3-1</i>	0.852693	0.000174	<i>Логістична</i>	<i>Логістична</i>
MLP 2-3-1	0.695284	0.000177	Логістична	Логістична
MLP 2-3-1	0.725896	0.000181	Логістична	Логістична
MLP 2-3-1	0.741596	0.000183	Логістична	Логістична
MLP 2-3-1	0.802756	0.000187	Логістична	Логістична
MLP 2-3-1	0.795634	0.000182	Логістична	Логістична
MLP 2-3-1	0.794862	0.000188	Логістична	Логістична
MLP 2-3-1	0.824572	0.000186	Логістична	Логістична

Після проведення розрахунків обираємо сітку, що має найбільший рівень продуктивності навчання 0,85 та помилку навчання 0,000174, що є дуже високими показниками і прийнятними для подальшого використання.

Загальний вигляд формули для розрахунку прогнозованого значення різниці середньозваженої денної зміни ціни та денної зміни значення індексу сектора на основі нейронної сітки:

$$x_{tпро} = \frac{M_0}{1 + \exp\left(-E_1 \frac{M_1}{1 + \exp(-(U_{11}x_{t-2} + U_{12}x_{t-4}))}\right) + E_2 \frac{M_2}{1 + \exp(-(U_{21}x_{t-2} + U_{22}x_{t-4}))} + E_3 \frac{M_3}{1 + \exp(-(U_{31}x_{t-2} + U_{32}x_{t-4}))}\right)} \tag{4}$$

де U_{11} – поєднання $t-2 \rightarrow$ прихований нейрон 1; U_{12} – поєднання $t-4 \rightarrow$ прихований нейрон 1; U_{21} – поєднання $t-2 \rightarrow$ прихований нейрон 2; U_{22} – поєднання $t-4 \rightarrow$ прихований нейрон 2; U_{31} – поєднання $t-2 \rightarrow$ прихований нейрон 3; U_{32} – поєднання $t-4 \rightarrow$ прихований нейрон 3; M_1 – поєднання вхідне зміщення \rightarrow прихований нейрон 1; M_2 – поєднання вхідне зміщення \rightarrow прихований нейрон 2; M_3 – поєднання вхідне зміщення \rightarrow прихований нейрон 3; E_1 – поєднання прихований нейрон 1 $\rightarrow t$; E_2 – поєднання прихований нейрон 2 $\rightarrow t$; E_3 – поєднання прихований нейрон 3 $\rightarrow t$; M_0 – поєднання приховане зміщення $\rightarrow t$.

Значення коефіцієнтів наведено у табл. 6.

Таблиця 6. Коефіцієнти-ваги нейронної сітки, авторська розробка

Позначення	Ваги
U_{11}	0.60109
U_{12}	-3.15738
U_{21}	-3.27938
U_{22}	-0.38380
U_{31}	-2.14926
U_{32}	-2.88261
M_1	-1.77991
M_2	4.43160
M_3	-1.49358
E_1	2.18729
E_2	5.06064
E_3	1.33624
M_0	-3.89059

Висновки. У результаті проведення розрахунків отримано формулу, за допомогою якої можна спрогнозувати значення різниці між середньозваженими коливаннями ціни трійки акцій та денними коливаннями значення індексу сектору сервісних послуг, що дає можливість створення торгової стратегії на основі проведених досліджень та використання її для будь-яких інших секторів економіки США або фінансових ринків світу.

Варто зауважити, що при повсякденному використанні описаних принципів необхідно раз на місяць поновлювати розрахунки, оскільки фінансові ринки є дуже нестійким середовищем і взаємозалежності інструментів постійно змінюються.

Подальші дослідження в обраному напрямку повинні полягати в розробці алгоритму торгівлі трійками акцій цінних паперів.

1. Касимов Ю.Ф. Основы теории оптимального портфеля ценных бумаг. – М.: Филинь, 1998. – 144 с.

Kasimov Ju. F. Osnovy teorii optimalnogo portfelja tsennykh bumag. – М.: Filin, 1998. – 144 s.

2. Шарп У., Александер Г., Бейли Дж. Инвестиции / Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 2001. – 1028 с.

Sharp U., Aleksander G., Beili Dz. Investicii / Per. s angl. – М.: INFRA-M, 2001. – 1028 s.

3. Alexander, C. (2001). Market Models. John Wiley & Sons. 514 p.

4. Avellaneda, M., Lee, J. (2008). Statistical Arbitrage in the U.S. Equities Market, United States of America, Courant Institute of Mathematical Sciences. 47 p.

5. *Brockwell, P.J., Davis, R.A.* (1987). *Time Series: Theory and Methods*. Springer-Verlag. 389 p.
6. *Brockwell, P.J., Davis, R.A.* (2001). *Introduction to time series and forecasting*. Springer-Verlag. 475 p.
7. *Damodaran, A.* (2002). *Investment Valuation: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset*. Mc-Graw-Hill. 992 p.
8. *Dickey, D.A., Fuller, W.A.* (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366): 427–431
9. *Engle, R.F., Granger, C.W.* (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*. 326 p.
10. *Hamilton, J.D.* (1994). *Time Series Analysis*. Princeton University Press. 384 p.
11. Market Data // Yahoo Finance // finance.yahoo.com.
12. *Markowitz, H.M.* (1959). *Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investment*. Wiley. New York. 365 p.
13. *Vidyamurthy, G.* (2004). *Pairs Trading*, United States of America, John Wiley & Sons, Inc. 210 p.
14. *Wiley, J.* (2008). *Trading pairs: capturing profits and hedging risk with statistical arbitrage strategies*, United States of America: John Wiley & Sons, Inc. 279 p.
15. *Zhang, M.* (2012). *Research on Modern Implications of Pairs Trading*, USA, Department of Statistics University of California, Berkeley. 25 p.

Стаття надійшла до редакції 18.03.2016.