

# МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ В ЕКОНОМІЦІ

004.82:336.76

Ковальчук К. Ф., Никитенко О. К.

## ВДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ФІНАНСОВИХ ПОКАЗНИКІВ З УРАХУВАННЯМ ПРАВИЛ РОЗВИТКУ ХВИЛЬ ЕЛЛІОТТА

У статті вдосконалено модель прогнозування фінансових показників з урахуванням правил розвитку хвиль Елліотта. Обґрунтовано використання єдиної шкали якісних термів, що складається з п'яти рівнів величин хвиль для опису матриці знань. Запропоновано математичний апарат для оцінювання характеристик несуперечності та повноти знань за допомогою введення у процес підтримки прийняття рішення не одного, а декількох нечітких логічних висловлювань з різними операціями кон'юнкції та диз'юнкції, а також застосування голосування для визначення найбільш імовірної відповіді про подальший рух ринку. Запропоновано використовувати перевірку на відповідність «чітким» правилам для зменшення впливу помилкових шаблонів у процесі налаштування моделі на навчальній вибірці. Запропоновано використовувати модель виключно для короткострокового прогнозування.

*Ключові слова:* знання, видобуток знань, хвиля, повнота, несуперечність

*Рис.:* 4. *Табл.:* 4. *Формул:* 7. *Бібл.:* 8.

**Ковальчук Костянтин Федорович** – доктор економічних наук, професор, декан, факультет економіки та менеджменту, Національна металургійна академія України (пр. Гагаріна, 4, Дніпропетровськ, 49600, Україна)

**Никитенко Олексій Костянтинович** – аспірант, кафедра економічної інформатики, Національна металургійна академія України (пр. Гагаріна, 4, Дніпропетровськ, 49600, Україна)

*Email:* richok@ua.fm

004.82:336.76

Ковальчук К. Ф., Никитенко А. К.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ПРАВИЛ РАЗВИТИЯ ВОЛН ЭЛЛИОТТА

В статье усовершенствована модель прогнозирования финансовых показателей с учетом правил развития волн Эллиотта. Обосновано использование единой шкалы качественных термов для описания матрицы знаний. Предложен математический аппарат для оценки характеристик непротиворечивости и полноты знаний посредством введения в процесс поддержки принятия решения не одного, а нескольких нечетких логических высказываний с различными операциями конъюнкции и дизъюнкции, а также применения голосования для определения наиболее вероятного ответа о дальнейшем движении рынка. Предложено использовать проверку на соответствие «четким» правилам для уменьшения влияния неверных шаблонов в процессе настройки модели на обучающей выборке. Предложено использовать модель исключительно для краткосрочного прогнозирования.

*Ключевые слова:* знание, добыча знаний, волна, полнота, непротиворечивость

*Рис.:* 4. *Табл.:* 4. *Формул:* 7. *Библ.:* 8.

**Ковальчук Константин Федорович** – доктор экономических наук, профессор, декан, факультет экономики и менеджмента, Национальная металлургическая академия Украины (пр. Гагарина, 4, Днепропетровск, 49600, Украина)

**Никитенко Алексей Константинович** – аспирант, кафедра экономической информатики, Национальная металлургическая академия Украины (пр. Гагарина, 4, Днепропетровск, 49600, Украина)

*Email:* richok@ua.fm

004.82:336.76

Kovalchuk K. F., Nykytenko O. K.

## IMPROVEMENT OF THE METHOD OF FORECASTING FINANCIAL INDICATORS WITH CONSIDERATION OF THE RULES OF THE ELLIOTT WAVE PRINCIPLE

The article improves the model of forecasting financial indicators with consideration of the rules of the Elliott wave principle. It justifies the use of the common scale of qualitative terms for describing the knowledge matrix. It offers a mathematical mechanism for assessment of characteristics of consistency and fullness of knowledge through introduction of support of decision making not one but several fuzzy logical statements with various operations of conjunction and disjunction and also application of voting for identifying the most probable answer about the further market movement. The article offers to use a check on correspondence with "clear" rules for reduction of influence of incorrect templates in the process of model adjustment upon the educating sampling. It offers to use the model exclusively for short-term forecasting.

*Key words:* knowledge, knowledge mining, wave, fullness, consistency

*Fig.:* 4. *Tabl.:* 4. *Formulae:* 7. *Bibl.:* 8.

**Kovalchuk Kostyantyn F.** – Doctor of Science (Economics), Professor, Dean, Faculty of Economics and Management, The National Metallurgical Academy of Ukraine (pr. Gagarina, 4, Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine)

**Nykytenko Oleksiy K.** – Postgraduate Student, Department of Economic Informatics, The National Metallurgical Academy of Ukraine (pr. Gagarina, 4, Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine)

*Email:* richok@ua.fm

**Вступ.** В умовах ринкової економіки одним з найважливіших економічних аспектів для якісного та кількісного розвитку системи господарювання є фінансовий ринок. Саме від його стану залежить здатність економічної системи до ефективного функціонування. Фінансовий ринок являє собою досить складний та багаторівневий механізм взаємодії суб'єктів, установ тощо. У зв'язку з цим, процес прогнозування динаміки його розвитку потребує використання широкого кола інструментів, що потребують постійного удосконалення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми прогнозування динаміки розвитку фінансового ринку розглядали такі зарубіжні вчені: Т. Вебе, Б. Л. Кузнєцов, Е. Петерс, Р. Пректер, Ю. Фама, А. Фрост та ін. Серед українських економістів, що досліджували питання прогнозування динаміки фінансових ринків, слід відзначити М. І. Скрипниченко, В. М. Соловйова, О. І. Черняка. Останнім часом все більшої популярності набувають дослідження, пов'язані із застосуванням методів інтелектуального аналізу даних для моделювання економічної динаміки. Так, А. В. Матвійчуком досить широко розглянуто застосування нейро-нечітких моделей, зокрема, модель прогнозування фінансових показників з урахуванням правил розвитку хвиль Елліотта [1, с. 177–211]. У той же час, потрібно відзначити, що така модель враховує не всі рушійні та коригувальні хвилі тощо.

**Формування мети статті.** Враховуючи наведені вище обмеження, метою статті є вдосконалення моделі прогнозування фінансових показників з урахуванням правил розвитку хвиль Елліотта.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Отже, для вдосконалення слід розглянути модель докладніше. Методологічним інструментарієм для встановлення правил розвитку ринку є теорія хвиль Елліотта. Відповідно до принципів теорії, в роботі [1] описані основні хвильові форми із зазначенням подальшого руху ринку у вигляді не-

чітких правил. На вхід моделі подається образ попередніх рухів ринку, а на виході моделі, таким чином, отримуємо прогнозне значення у вигляді напрямку та величини наступної зміни ціни.

Перед початком роботи системи необхідно провести попередню обробку цінового ряду, а також перетворити ряд абсолютних значень цін на набір лінгвістичних термів [2], які характеризуватимуть напрями та силу зміни курсу. Для побудови моделі прогнозування фінансових ринків, перш за все, слід формалізувати вхідні і результуючі змінні [1, с. 174–175].

При описі в нечіткому вигляді хвиль А. В. Матвійчуком запропоновано використовувати єдину шкалу якісних термів: *С* – спадає, *ПС* – помірно спадає, *ПЗ* – помірно зростає, *З* – зростає. Проте, оскільки такі моделі, як горизонтальні трикутники, що сходяться та розходяться, а також діагональні трикутники мають візуально по п'ять характерних величин хвиль, а кожна з величин має два напрямки руху, то пропонується описати хвильові моделі десятима термами: *ДВЗ* – дуже велике зростання, *ВЗ* – велике зростання, *ПЗ* – помірне зростання, *МЗ* – маленьке зростання, *ДМЗ* – дуже маленьке зростання; *ДВС* – дуже великий спад, *ВС* – великий спад, *ПС* – помірний спад, *МС* – маленький спад, *ДМС* – дуже маленький спад. Для оцінки значень вихідної змінної у використанні ті ж самі терми.

На рис. 1 наведено структуру хвиль Елліотта. Тут можна віднайти відповідність усім вищезазначеним термам: *ВС, ПС, МС, ДМС* – хвилі 2 та 4 на імпульсних хвилях (1), (3) та (5) і хвиля *b* на корекції (В); *ВЗ, ПЗ, МЗ, ДМЗ* – корекції на спадаючих хвилях вищого рівня (коригуючи хвиля *b* на корекції (2) чи імпульси 2 та 4 на хвилі (А)); *ДВС, ВС, ПС, МС* – імпульси на спадаючих хвилях вищого рівня (імпульсні хвилі *a* та *c* на (2) або 1, 3, 5 на імпульсі (А)); *ДВЗ, ВЗ, ПЗ, МЗ* – імпульси на зростаючих хвилях вищого рівня (імпульси 1, 3, 5 на рушійній хвилі (1) та *a, c* – на (В)).

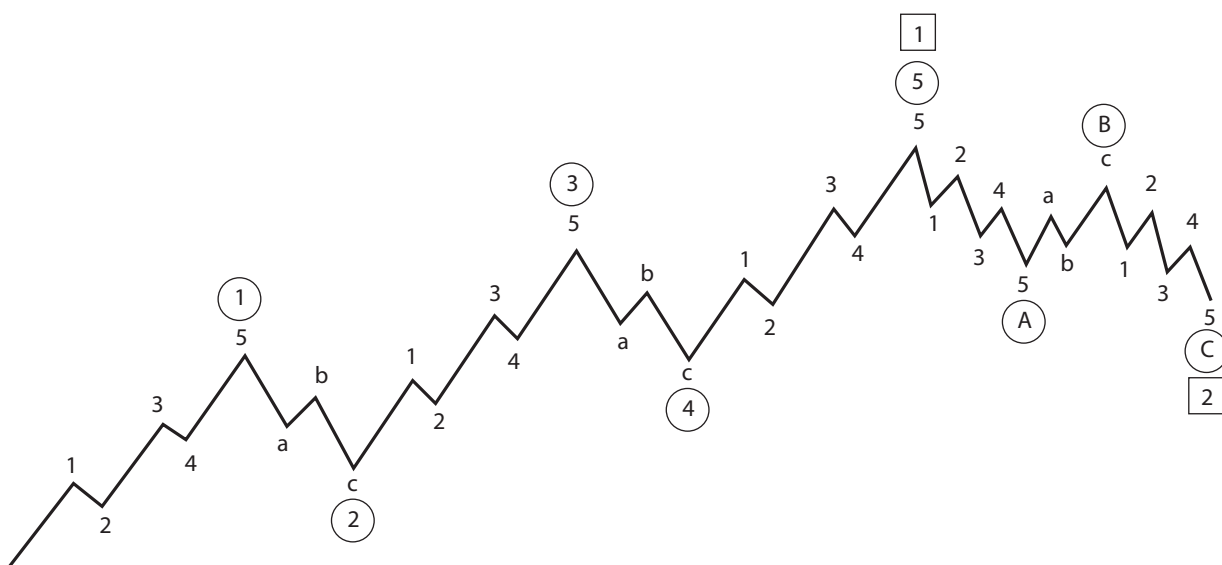


Рис. 1. Структура хвиль Елліотта

Для адекватного функціонування моделі слід ввести показник  $x_{hr}$ , що буде відповідати певній ділянці на хвилі вищого рівня і визначати «парність» («непарність») хвилі. Так, прийнято, що лінгвістична змінна  $x_n$  зможе отримати такі значення:  $P$  – хвиля рушійного стилю,  $K$  – хвиля коригувального стилю та  $x$  – у будь-якому разі. Таким чином, для прогнозування фінансових ринків слід використовувати вісім вхідних змінних  $x_1, \dots, x_8$ , що характеризують попередні зміни курсу та показник  $x_{hr}$ , що характеризує стиль хвилі вищого рівня [1, с. 180–181].

Формуючи матрицю знань, А. В. Матвійчуком встановлені правила нечіткого логічного висновку з використанням базової моделі Елліотта, а також подовжень та усікань [1, с. 185–186].

Повний цикл складається з рушійної та коригувальної фаз (1):

$$\text{Рушійна фаза} + \text{Коригувальна фаза} = \text{Цикл.} \quad (1)$$

Виходячи з цього, для вдосконалення моделі можна використати наступний підхід: 1) доповнити базу нечітких правил моделі у відповідності до всіх рушійних та коригувальних моделей; 2) здійснювати перевірку поданих для навчання образів на належність до певної хвильової моделі з використанням «чітких» правил.

*Доповнення бази нечітких правил.* До рушійних хвильових моделей відносяться: імпульс; кінцевий діагональний трикутник; провідна діагональ; розтяжка (подовження) та усічення, – а до коригувальних моделей: горизонтальний трикутник, що розходиться; симетричний, спадаючий та горизонтальний трикутник, що сходиться; потрійна трійка; подвійна трійка; площа; потрійний зигзаг; простий та подвійний зигзаги [3].

Нечітку базу знань пропонується описати за допомогою перебору усіх можливих комбінацій рушійних та коригувальних хвиль, тобто спочатку необхідно описати їх, а оскільки усі рушійні моделі, крім розтяжок, мають п'ятихвильову структуру, має сенс описати їх в окремій таблиці.

Імпульс містить хвилі двох рівнів, тому для його опису треба перебрати усі можливі варіанти рушійних та коригувальних хвиль нижчого рівня. Усічення має меншу п'яту хвилю за попередню корекцію (хвилю 4), тобто має три рівні величини хвиль. Кінцевий діагональний трикутник та провідна діагональ мають п'ять рівнів величини хвиль. Це добре видно з рис. 2.

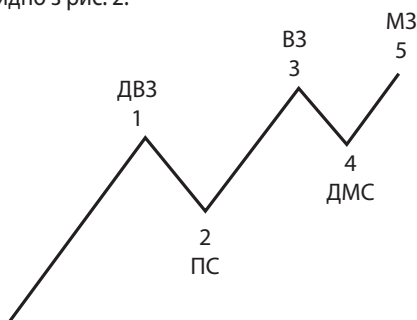


Рис. 2. Діагональний трикутник

Розтяжки найчастіше мають дев'ятихвильову структуру і означають, що одна, дві або усі три рушійні хвилі мають яскраво виражену п'ятихвильову структуру ступенем нижче. Часто неможливо навіть розпізнати, до якого імпульсу належать хвилі дев'ятихвильової структури. Така модель буде мати від двох до чотирьох рівнів величини хвиль, тому описання такої моделі таблицею є доволі громіздким. Результати опису рушійних п'ятихвильових моделей наведено у табл. 1.

У наведеній таблиці поля  $x_1 + x_5$  містять терми, що вказують лише на величину хвиль, але не вказують на напрямок руху, оскільки кожна наступна хвиля є направленою в протилежний бік за попередню. Це дозволило вдвічі скоротити такий опис.

Трьоххвильові моделі. Зигзаг та подвійний зигзаг можна описати хвилями двох рівнів величини. Подвійні трійки та площини також можна описати однаково – усі три хвилі приблизно однакової величини. Повний опис коригувальних моделей, що складаються із трьох хвиль, наведено у табл. 2.

П'ятихвильові коригувальні моделі. Горизонтальні трикутники, що сходяться та розходяться, мають по п'ять рівнів величин хвиль, адже кожна наступна хвиля менше (для горизонтального трикутника, що сходиться) або більша (для горизонтального трикутника, що розходиться) за попередню. Потрійні трійки дуже важко описати, але можна описати форму, яка найчастіше зустрічається, за допомогою двох рівнів величин хвиль. Потрійний зигзаг опишемо за допомогою двох рівнів величин хвиль. Повний опис коригувальних моделей, що складаються із п'яти хвиль, наведено у табл. 3.

За результатами опису усіх рушійних та коригувальних моделей можна розпочати формування бази нечітких правил.

Так, наприклад, базова восьмихвильова модель може бути описана як «імпульс+зигзаг». Для прикладу наведемо формування одного нечіткого правила, що вказує на подальше дуже велике зростання (ДВЗ) курсу аналізованого показника після введення до моделі значень, що відповідають повному циклу – «імпульс+горизонтальний трикутник, що сходиться». Так, імпульс, за яким слідує горизонтальний трикутник, що сходиться (усіх трьох видів) та коригує бичий рух можна описати наступним чином: ДВЗ отримуємо на піку хвилі е верхнього хвильового рівня моделі, зображеної на рис. 3. Цьому значенню відповідають такі вхідні параметри:

$$x = \{ДВЗ, ПС, ДВЗ, ПС, ДВЗ, ДВС, ВЗ, ПС, МЗ, ДМС\}.$$

Повний перебір усіх рушійних та коригувальних хвиль у табличному вигляді є дуже громіздким, тому слід навести лише набір правил, логічним висновком яких буде дуже велике зростання (ДВЗ) ціни аналізованого фінансового інструменту для кращого розуміння.

Проте, перед цим кожному правилу в базі знань слід поставити у відповідність ваговий коефіцієнт  $w$ , як це наводиться в монографії [1]. Такий коефіцієнт характеризує ступінь достовірності цього правила відповідно до ціно-

Опис рушійних моделей

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	Назва моделі
1	ДВ	В	ДВ	В	ДВ	Імпульс (impulse)
2	ДВ	П	ДВ	П	ДВ	
3	ДВ	М	ДВ	М	ДВ	
4	ДВ	ДМ	ДВ	ДМ	ДВ	
5	В	П	В	П	В	
6	В	М	В	М	В	
7	В	ДМ	В	ДМ	В	
8	П	М	П	М	П	
9	П	ДМ	П	ДМ	П	
10	М	ДМ	М	ДМ	М	
11	ДВ	В	ДВ	В	П	Усічення (truncion)
12	ДВ	В	ДВ	В	М	
13	ДВ	В	ДВ	В	ДМ	
14	ДВ	П	ДВ	П	М	
15	ДВ	П	ДВ	П	ДМ	
16	ДВ	М	ДВ	М	ДМ	
17	В	П	В	П	М	
18	В	П	В	П	ДМ	
19	В	М	В	М	ДМ	
20	П	М	П	М	ДМ	
21	ДВ	П	В	ДМ	М	Кінцевий діагональний трикутник (ending diagonal triangle), провідна (leading diagonal) діагональ

Таблиця 2

Опис коригувальних моделей, що складаються з трьох хвиль

№	$x_a$	$x_b$	$x_c$	Назва моделі
1	ДВ	ДВ	ДВ	Подвійні трійки (double threes), площини (flats)
2	В	В	В	
3	П	П	П	
4	М	М	М	
5	ДМ	ДМ	ДМ	
6	ДВ	В	ДВ	Прості (single) та подвійні зигзаги (double zigzags)
7	В	П	В	
8	П	М	П	
9	М	ДМ	М	

вої кривої (навчальної вибірки). Отже, у процесі оптимізації моделі на навчальній вибірці ці ваги можуть прийняти значення  $0 \leq w \leq 1$ . Отже, загальний вигляд бази знань на прикладі правила, що відповідає ДВЗ, наведемо у табл. 4.

В таблиці поля:  $x_d$  – напрямок руху першої хвилі,  $(x_1 \div x_8)$  – послідовність рівнів величин хвиль,  $x_h$  – поточне положення ринку на цінорівній кривій.

Таблиця 3

Опис коригувальних моделей, що складаються з п'яти хвиль

№	$x_w$	$x_x$	$x_y$	$x_{xx}$	$x_z$	Назва моделі
1	ДМ	М	П	В	ДВ	Горизонтальний трикутник, що розходиться (reverse symmetrical horizontal triangle)
2	ДВ	В	П	М	ДМ	Симетричний (symmetrical), спадаючий (descending), горизонтальний трикутник, що сходиться (ascending horizontal triangle)
3	ДВ	ДВ	ДВ	В	В	Потрійні трійки (triple threes)
4	В	В	В	П	П	
5	П	П	П	М	М	
6	М	М	М	ДМ	ДМ	
7	ДВ	В	ДВ	В	ДВ	Потрійні зигзаги (triple zigzags)
8	В	П	В	П	В	
9	П	М	П	М	П	
10	М	ДМ	М	ДМ	М	

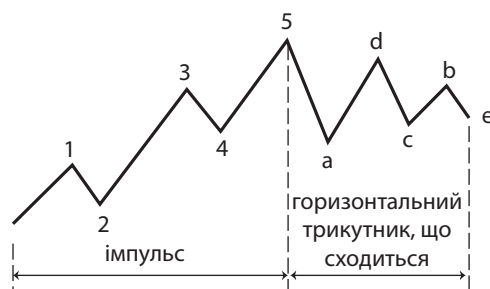


Рис. 3. Імпульс + горизонтальний трикутник, що сходиться

Таблиця 4

База знань для моделювання хвиль Елліотта

№ вхідної комбінації	Вхідні змінні										Вага	Результуюча змінна	
	$x_d$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_h$	w	y	
1, 1	3	ДВ	В	ДВ	В	ДВ	ДВ	ДВ	ДВ	К	$w_1^{ДВ3}$	ДВ3	
1, 2	3	ДВ	В	ДВ	В	ДВ	ДВ	В	ДВ	К	$w_2^{ДВ3}$		
1, 3	3	ДВ	В	ДВ	В	П	ДВ	ДВ	ДВ	К	$w_3^{ДВ3}$		
1, 4	3	ДВ	В	ДВ	В	П	ДВ	В	ДВ	К	$w_4^{ДВ3}$		
1, 5	3	ДВ	В	ДВ	В	М	ДВ	ДВ	ДВ	К	$w_5^{ДВ3}$		
...													
1, 38	3	М	ДВ	В	ДВ	ДВ	П	ДВ	П	Р	$w_{38}^{ДВ3}$		
1, 39	3	ДМ	ДВ	ДВ	ДВ	ДВ	П	ДВ	П	Р	$w_{39}^{ДВ3}$		
1, 40	3	ДМ	ДВ	В	ДВ	ДВ	П	ДВ	П	Р	$w_{40}^{ДВ3}$		
1, 41	3	ДМ	ДВ	ДВ	ДВ	ДВ	М	ДВ	М	Р	$w_{41}^{ДВ3}$		
1, 42	3	ДМ	ДВ	В	ДВ	ДВ	М	ДВ	М	Р	$w_{42}^{ДВ3}$		

Функція належності вектора вхідних змін (попередніх послідовних значень фінансових інструментів) являє собою реалізацію набору логічних правил щодо розпізна-

вання хвиль та видачі прогнозного значення, за аналогією з [1, с. 200], (наприклад, ДВЗ), але з позначенням операції нечіткої кон'юнкції та диз'юнкції і має вигляд:

$$\begin{aligned} \mu^{ДВЗ}(x_1, \dots, x_8, x_h) = & w_1^{ДВЗ} \left[ \mu^{ДВЗ}(x_1) \text{ т } \mu^{ВС}(x_2) \text{ т } \mu^{ДВЗ}(x_3) \text{ т } \mu^{ВС}(x_4) \text{ т } \mu^{ДВЗ}(x_5) \text{ т } \right. \\ & \left. \mu^{ДВС}(x_6) \text{ т } \mu^{ДВЗ}(x_7) \text{ т } \mu^{ДВС}(x_8) \text{ т } \mu^K(x_h) \right] \text{ s } \dots \text{ s } w_{42}^{ДВЗ} \left[ \mu^{ДМЗ}(x_1) \text{ т } \mu^{ДВС}(x_2) \text{ т } \right. \\ & \left. \mu^{ВЗ}(x_3) \text{ т } \mu^{ДВС}(x_4) \text{ т } \mu^{ДВЗ}(x_5) \text{ т } \mu^{МС}(x_6) \text{ т } \mu^{ДВЗ}(x_7) \text{ т } \mu^{МС}(x_8) \text{ т } \mu^P(x_h) \right], \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\mu^{d_j}(x_1, \dots, x_8, x_h)$  – функція належності вектора вхідних змінних  $X = \langle x_1, \dots, x_8, x_h \rangle$  до лінгвістичного терму (рух ринку)  $d_j \in \{ДВС, ВС, ПС, МС, ДМС, ДМЗ, МЗ, ПЗ, ВЗ, ДВЗ\}$  результуючої змінної  $u$ ;

$\mu^{a_i}(x_i)$  – функція належності змінної  $x_i$  до нечіткого терму  $a_i \in \{ДВС, ВС, ПС, МС, ДМС, ДМЗ, МЗ, ПЗ, ВЗ, ДВЗ\}$ ;

$w_p^{d_j}$  – ваговий коефіцієнт  $p$ -го правила,  $p = \overline{1, k_j}$ , для терму  $d_j$  результуючої змінної  $u$ ;

$k_j$  – кількість правил у базі знань, що відповідають  $j$ -му значенню результуючої змінної  $u$ .

$t$ - та  $S$ -норми – операції нечіткої кон'юнкції та диз'юнкції.

Логічне висловлення містить в собі оператори  $t$ -норми між функціями належності змінних  $x$  до нечіткого терму  $a_i$  та оператори  $S$ -норми між нечіткими правилами, як можна побачити з функції (2). В якості  $t$ - та  $S$ -норм для функції належності (2) використано комбінації нечітких кон'юнкції та диз'юнкції, симетричні суми та середні (арифметична, геометрична, гармонійна) відповідно. Значення функції належності розраховуються для всіх пар операторів, а потім голосуванням (простою більшістю) визначається, до якого терму належить вектор вхідних змінних  $X = (x_1, \dots, x_8)$ .

Модель прогнозування фінансових показників з урахуванням правил розвитку хвиль Елліотта можна застосовувати як для короткострокових, так і для довгострокових вкладень [1, с. 186].

Проте, за гіпотезою фрактального ринку [4; 5], прогнозування на довгострокові періоди як мінімум значно поступається в ефективності прогнозуванню на короткостроко-

ві періоди, адже з часом в системі накопичується невизначеність. Також, згідно з гіпотезою фрактального ринку, як вже відмічалось раніше, використання засобів технічного аналізу більш виправдане для прогнозування на короткострокові періоди, в той час, коли фундаментальна інформація стає вагомішою по мірі збільшення інвестиційних горизонтів. Таким чином, слід використовувати вищеописану модель для прогнозування виключно на короткострокові періоди.

Після оптимізації моделі на навчальній вибірці кожного правила буде присвоєно власну вагу, що буде враховуватися при нечіткому логічному висновку.

Перед початком оптимізації (навчання) моделі слід визначити параметри функцій належності усіх змінних. Це можна зробити, обравши трапецієподібні функції належності та описати їх у відсотках від зміни ціни фінансового інструменту, як це зображено на рис. 4 (приклад).

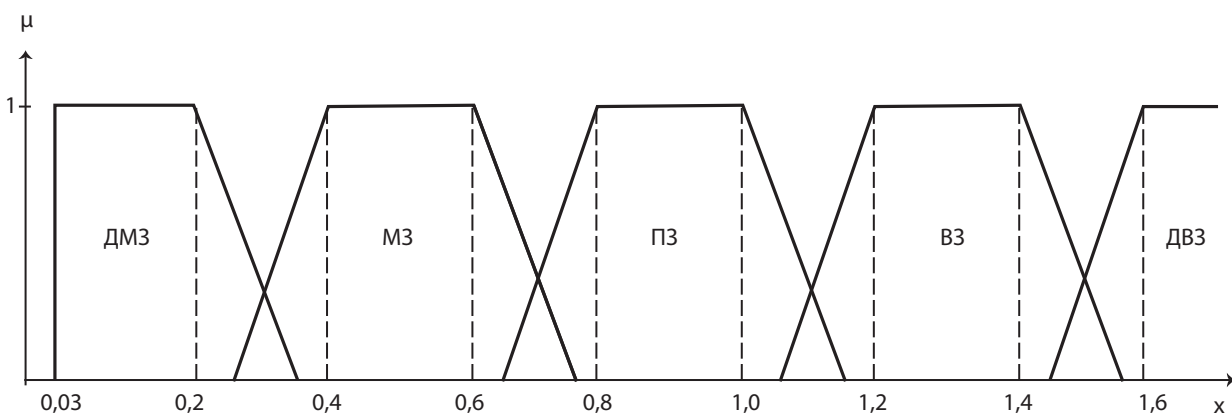


Рис. 4. Опис лінгвістичних термів



Аналогічним чином описані й терми, що вказують на спад курсу фінансового інструменту, але із знаком мінус.

Оптимізація моделі проводиться за допомогою алгоритмів налаштування параметрів нечіткої моделі, з використанням алгоритму «Extended Delta-Bar-Delta» [3].

*Перевірка образів з використанням «чітких» правил.* Налаштування параметрів моделі відбувається тільки тоді, коли поданий на вхід моделі образ відповідає «чітким» правилам. Отже, імпульс повинен відповідати наступним вимогам [6, 7]:

- закінчення другої хвилі ніколи не заходить за початок першої;
- третя хвиля завжди заходить за вершину першої;
- третя хвиля ніколи не буває найкоротшою зі всіх рушійних;
- закінчення четвертої хвилі ніколи не заходить за вершину першої.

Перші три правила дійсні також для провідної діагоналі та кінцевого діагонального трикутника.

Коригувальні моделі мають наступні особливості [7]:

- у зигзага або подвійного зигзага закінчення хвилі  $B$  або  $X$  не заходить за початок хвилі  $A$  або  $W$  відповідно;
- у потрійного зигзага закінчення хвилі  $XX$  не заходить за початок хвилі  $Y$ , крім того, що закінчення хвилі  $X$  не заходить за початок хвилі  $W$ ;
- у трикутника, що сходиться, хвилі  $C, D, E$  ніколи не виходять за цінні ліміти хвиль  $B, C, D$  відповідно;
- у трикутника, що розходиться, хвилі  $C$  та  $D$  завжди перевищують за довжиною хвилі  $B$  та  $C$  відповідно [4].

Отже, використавши вищенаведений підхід, можна виключити з процедури навчання моделі заздалегідь невірні хвильові фігури.

*Прийняття інвестиційного рішення.* Для ефективного використання моделі слід вивести адекватні операції та характеристики для обробки інформації про рух цін фінансових інструментів на різних ринках, а саме, для конструкції нечіткого логічного висловлювання з бази знань (див. функцію (2)).

Кожен з чотирьох параметрів для всіх функцій належності був описаний у відсотках від зміни ціни фінансового інструменту. Таким чином, інформація про відносні зміни ціни фінансового інструменту вимірюється в шкалі відношень. Виходячи з цього, для проведення подальших операцій з нечіткими множинами (кон'юнкція і диз'юнкція) були обрані адекватні оператори обробки економічної інформації [8]: імовірнісний добуток (3) та сума (4), а також симетричні суми та середні (арифметична, геометрична, гармонійна).

$$t_4(\mu_1, \mu_2) = \mu_1 \mu_2, \quad (3)$$

$$s_4(\mu_1, \mu_2) = \mu_1 + \mu_2 - \mu_1 \mu_2. \quad (4)$$

У моделі прогнозування фінансових часових рядів одним з полів бази знань є значення ваг прийняття рішень у

для кожного правила. Ваги всіх правил спочатку (до оптимізації моделі) були прирівняні одиниці. Після оптимізації моделі дані ваги отримують значення  $0 \leq w \leq 1$ , що відображає повноту правила прийняття рішень і враховується при нечіткому логічному висновку (див. (2)). Правила, в яких значення  $w < \frac{1}{2}$ , вилучаються з бази.

Крім ваг  $w$  для кожного правила, при нечіткому логічному висновку, використовуються різні  $t$ -норми (див. (2)), в т. ч. оператори, що є адекватними даному типу шкал. Вище запропоновано використовувати метод голосування для прийняття остаточного рішення, попередньо розраховавши належність вектора вхідних значень  $X = (x_1, \dots, x_8)$  до всіх можливих результуючих термів. Таким чином, з'являється необхідність оцінити адекватність з точки зору прогнозування кожного з операторів. Адекватність  $K_i$  відображає ступінь правильності класифікації поданих на вхід моделі образів оператором і може бути розрахована, як відсоток правильних відповідей, продемонстрованих на тестовій вибірці. Для прийняття фінансового рішення будемо використовувати зважену суму. Для цього необхідно перевести коефіцієнти адекватності у відповідні ваги  $\omega$  за співвідношенням:

$$\omega_i = \frac{K_i}{\sum_{l=1}^m K_l}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (5)$$

де  $m$  – кількість операторів.

Далі за допомогою вагової функції проводиться обчислення:

$$\overline{\mu^{y_n}}(X) = \sum_{i=1}^m \omega_i \cdot \mu_i^{y_n}(X), \quad (6)$$

де  $\mu_i^{y_n}(X)$  – функція належності образу  $X = (x_1, \dots, x_8)$  до результуючого терму  $y_n \in \{ДВЗ, ВЗ, ПЗ, МЗ, ДМЗ, ДВС, ВС, ПС, МС, ДМС\}$ , обчислена за допомогою оператора  $i$ .

Після розрахунку вагової функції для всіх результуючих змінних, система обчислює найбільшу і відповідно до цього приймається рішення.

Для прогнозування фінансових часових рядів пропонується використовувати таке співвідношення для оцінки несуперечності:

$$\beta^{y_n}(X) = \frac{2\overline{\mu^{y_n}}(X) - 1}{\overline{\mu^{y_n}}(X)}. \quad (7)$$

Якщо  $\beta^{y_n}(X) < \frac{1}{2}$ , то рівень несуперечності є дуже низьким і особі, що приймає рішення (інвестору) слід звернути на це увагу. Слід зазначити, що у відповідності з гіпотезою фрактального ринку, модель слід використовувати для прогнозування на короткострокові періоди з попереднім проведенням R/S-аналізу часового ряду.

**Висновок.** Таким чином, вдосконалено модель прогнозування фінансових показників з урахуванням правил

розвитку хвиль Елліотта: обґрунтовано використання єдиної шкали якісних термів, що складається з п'яти рівнів величин хвиль, для описання усіх рушійних та коригувальних моделей, а також результуючої змінної; матриця знань представлена у вигляді перебору усіх можливих комбінацій рушійних та коригувальних моделей хвиль Елліотта; запропоновано використовувати перевірку на відповідність «чітким» правилам для зменшення впливу помилкових шаблонів у процесі налаштування моделі на навчальній вибірці; завдяки запропонованому математичному апарату

для зняття невизначеності, у моделі з'явилася можливість оцінювання несуперечності та повноти знань за допомогою введення у процес підтримки прийняття рішення не одного, а декількох нечітких логічних висловлювань з різними операціями кон'юнкції та диз'юнкції, а також застосування голосування для визначення найбільш імовірної відповіді про подальший рух ринку; відповідно до гіпотези фрактального ринку, запропоновано використовувати модель виключно для короткострокового прогнозування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Матвійчук А. В. Штучний інтелект в економіці : нейронні мережі, нечітка логіка : монографія / Матвійчук А. В. – К. : КНЕУ, 2011. – 439 с.
2. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию проблемных решений / Заде Л. А. – М. : Мир, 1976. – 161 с.
3. Minai A. A. Acceleration of Back-Propagation through Learning Rate and Momentum Adaptation / A. A. Minai, R. D. Williams // International Joint Conference on Neural Networks. – 1990. – Vol. I. – P. 676–680.
4. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков. Применение теории хаоса в инвестициях и экономике / Петерс Э. – М. : Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
5. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка / Петерс Э.; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 2000. – 333 с.
6. Frost A. J. The Elliott Wave Principle : Key To Market Behavior / A. J. Frost, R. R. Prechter. – Introduction by Charles J. Collins, 2005. – 112 с.
7. Реализация автоматического анализа волн Эллиотта на MQL [Электронный ресурс] : Статьи по автоматизированному трейдингу и оптимизации стратегий / Роман Мартинюк. – 2011. – Режим доступа : <http://www.mql5.com/ru/articles/260>. – Название с экрана.
8. Ковальчук К. Ф. Интеллектуальная поддержка принятия экономических решений / Ковальчук К. Ф.; [отв. ред. О. П. Суслев]. – Донецк : ИЭП НАНУ, 1996. – 224 с.

## REFERENCES

- Frost, A. J., and Prechter, R. R. The Elliott Wave Principle : Key To Market Behavior, 2005.
- Kovalchuk, K. F. Intellectualnaia podderzhka priniatia ekonomicheskikh resheniy [Intellectual support of economic decision-making]. Donetsk: IEP NANU, 1996.
- Minai, A. A., and Williams, R. D. "Acceleration of Back-Propagation through Learning Rate and Momentum Adaptation" International Joint Conference on Neural Networks vol. 1 (1990): 676-680.
- Matviichuk, A. V. Shtuchnyi intelekt v ekonomitsi : neuronni mer-ezhi, nechitka lohika [Artificial intelligence in economics: neural networks, fuzzy logic]. Kyiv: KNEU, 2011.
- Martiniuk, R. "Realizatsiia avtomaticheskogo analiza voln Elliotta na MQL" [Implementation of automatic analysis of Elliott Wave on MQL]. <http://www.mql5.com/ru/articles/260>
- Peters, E. Fraktalnyy analiz finansovykh ryнков. Primenenie teorii khaosa v investitsiakh i ekonomike [Fractal analysis of financial markets. Application of chaos theory to investment and economics]. Moscow: Internet-treiding, 2004.
- Peters, E. Khaos i poriadok na ryinkakh kapitala. Novyy analiticheskiy vzgliad na tsikly, tseny i izmenchivost ryinka [Chaos and order in the capital markets. New analytical view of cycles, prices and market volatility]. Moscow: Mir, 2000.
- Zade, L. A. Poniatie lingvisticheskoy peremennoy i ee primenenie k priniatiu problemnykh resheniy [Concept of linguistic variable and its application to decision-making problem]. Moscow: Mir, 1976.