

2. *Заде Л. А.* Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. / Математика сегодня (Сборник статей. Перевод с англ.). — М.: Знание, 1974.

3. *Матвійчук А. В.* Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка: Монографія. — К.: КНЕУ, 2011. — 439 с.

4. *Недосекин А. О.* Фондовый менеджмент в расплывчатых условиях. — СПб.: Типография «Сезам», 2003.

5. *Ример М. И., Касатов А. Д., Матиенко Н. Н.* Экономическая оценка инвестиций: 2-е изд. / Под. общ. ред. М. И. Римера. — СПб.: Питер, 2008. — 480 с. — (Серия «Учебник для вузов»).

6. *Севастьянов П. В.* Финансовая математика и модели инвестиций: Курс лекций / П. В. Севастьянов. — Гродно: ГрГУ, 2001. — 183 с.

7. *Сявавко М. С.* Інтелектуалізована інформаційна система «Нечіткий експерт». — Л.: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. — 320 с.

8. *Чернов В. Г.* Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 312 с.

Стаття надійшла до редакції 02.06.2011 р.

УДК 338.27

Д. С. Кононенко,

ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ ФІНАНСОВИХ ПОКАЗНИКІВ ІЗ УРАХУВАННЯМ ПРАВИЛ ТЕХНІЧНОГО АНАЛІЗУ РИНКУ

АНОТАЦІЯ. Розроблено методологічний підхід до процесу прийняття рішень при торгівлі фондовими активами, на основі якого створено модель з використанням інструментарію нечіткої логіки. Практична реалізація розробленого підходу дозволила провести аналіз моделі на реальних даних, у ході якого було відзначено її високу ефективність.

ANNOTATION. There are developed an approach to decision making process of stock trading. The model was created on the base of presented approach and fuzzy logic theory. Practical implementation of developed approach allowed to make an analysis of model using real dataset, which confirmed high efficiency of model and approach.

КЛЮЧОВІ СЛОВА. Нечітка логіка, функція належності, база правил, технічний аналіз, технічний індикатор.

Динаміку фінансових індексів або курсів акцій можна розглядати як спробу учасників ринку знайти ту вартість фінансового інструменту, яка була б адекватна поточним фінансовим показникам даної компанії або сегменту економіки. Окрім того, учасники гри мають різні переваги та керуються різними показниками та індикаторами при прийнятті рішень або формуванні стратегій. Детальний огляд інформації, що використовується інвесторами для аналізу поведінки ринків, наведено в роботі Еріка Наймана [23].

На сьогодні методи штучного інтелекту успішно застосовуються для такого широкого кола завдань, як розподіл інвестиційних засобів, фінансове прогнозування, оцінка ризиків тощо. Більшість застосунків дають збільшення в прибутковості фінансових операцій на понад 30 %. У таких країнах, як США та Японія, фінансові організації є одними з найбільших спонсорів досліджень в області застосування технологій штучного інтелекту в комерційних цілях. Найуспішніші напрями в аналізі поведінки ринків представлені в роботах Роберта Тріппі (Robert R. Trippi) [7—9].

Інтелектуальні методи прогнозування розвитку фінансових показників різняться від чисто математичних моделей та експертних систем до інструментарію нечіткої логіки або нейронних мереж. Так, А. В. Матвійчук розробив підхід та побудував модель ідентифікації та прогнозування фінансових показників з використанням методів теорії нечіткої логіки з урахуванням правил розвитку цінових кривих з теорії хвиль Елліотта [15, 16]. Рамон Лоуренс з університету Манітоби у своїй роботі [6] описав застосування нейронних мереж при прогнозуванні ринкової вартості цінних паперів. У своїй роботі він аналізує розповсюджені методи ринкового аналізу та протиставляє їм нейронні мережі. Йочанан Шачмурове з економічного факультету університету Пенсильванії провів дослідження [2] останніх робіт, присвячених вирішенню проблем невизначеності в сфері фінансів за допомогою нейронних мереж. Хусейн Доура та Пепе Сіу в своєму дослідженні [3] пропонують варіант системи, яка функціонує на основі правил нечіткої логіки з використанням методів технічного аналізу фінансових показників. Ху-Шен Жоу та Мінг Донг у своєму дослідженні [10] представляють заснований на нечіткій логіці підхід до оцінювання ефективності алгоритмів технічного аналізу. Ахмед Гаміль, Раафат Ель-фулі та Невін Дарвіш [1] пропонують алгоритм роботи системи підтримки прийняття рішень на фондовому ринку з використанням мультиагентних технологій та теорії нечіткої логіки.

Усі наведені дослідження доводять, що дослідження у сфері моделювання поведінки та розвитку фінансових показників є дуже актуальною темою. Також варто зауважити, що використання інтелектуальних засобів у процесі моделювання є відносно новим напрямом, тому кожне нове дослідження в даній сфері має певну новизну та вносить свою частку в загальний процес досліджень.

Об'єктом даного дослідження виступають фінансові часові ряди та процеси, що відбуваються під час торгівлі фондовими активами.

Відповідно, предметом дослідження є математичні методи та моделі прогнозування розвитку фінансових показників.

Мета дослідження полягає в розробці методологічного підходу на основі теорії нечіткої логіки та створення на його основі моделей для підтримки процесу прийняття рішень під час торгівлі фондовими активами.

Завданнями даного дослідження є: розробка методології підтримки процесу прийняття рішень при торгівлі фондовими активами; створення моделей на основі розробленої методології; практична реалізація та проведення експериментів для перевірки адекватності розроблених моделей.

Будь-яка інвестиційна компанія має в своєму активі різноманітних аналітиків, фахівців з побудови фінансової стратегії, менеджерів портфельних інвестицій. Всі вони покликані робити одне — прогнозувати стан ринку та отримати максимально можливий прибуток, враховуючи той факт, що більшість дослідників сходяться на думці, що прибутковість понад 75 % усіх фінансових активів, які знаходяться в обігу на фондовому ринку, взятих окремо, не перевищують прибутковості основних ринкових індексів. Іншими словами, пересічний інвестор надаватиме перевагу вкладенню активів у фондові індекси, аніж намаганням власноруч обійти ринок.

Виділяють два основні напрямки аналізу — фундаментальний та технічний. У даному дослідженні більш детально буде розглянутий технічний аналіз ринку, оскільки саме він передбачає можливість прогнозування вартості фінансових інструментів на основі значень попередніх періодів.

Технічним аналізом називають прогнозування майбутніх змін вартості фінансових активів, аналізуючи зміни минулих періодів. Технічний аналіз не має на меті формування точного прогнозу майбутньої вартості, він покликаний допомогти інвесторам визначити, що швидше за все трапиться з вартістю через певний час. Технічний аналіз застосовується до цінних паперів, індексів, товарів, ф'ючерсів та інших фінансових інструментів, ціна яких

залежить від попиту та пропозиції на нього. Ціною вважаються будь-які комбінації найвищої, найменшої ціни або ціни закриття за певний часовий проміжок.

На початку ХХ ст. теорія Доу поклала основи сучасного розуміння технічного аналізу. Теорія Доу не була єдиним, взаємопов'язаним збором законів та правил, а була зібрана з робіт Чарльза Доу за кілька років. З багатьох теорем, сформульованих Ч. Доу, можна виділити три основні:

1. Ціна враховує все. Технічний аналіз передбачає, що поточна ціна повністю відображає всю інформацію. Відповідно, оскільки вся інформація вже відображена в ціні, то вона відображає справедливу вартість та повинна формувати основу для аналізу.

2. Цінові коливання не є цілковито випадковими. Як зазначав Дж. Швагер у своїй роботі «Швагер і ф'ючерси: технічний аналіз» [4]: «Одна з точок зору полягає в тому, що ринки мають ознаки значних періодів слабкості та довільних коливань, розбавлених коротшими періодами невинуватої поведінки. Метою аналітика є виявлення таких періодів (т.зв. основних трендів)».

3. Відповідь на питання «Який?» є важливішою, ніж відповідь на питання «Чому?». Аналітик повинен зосереджуватись на відповіді на два основних питання: Яка поточна ціна? Якою є історія цінових рухів? Технічний аналіз вважає, що вартість активу є нічим іншим, як готовністю певних осіб придбати цей актив. І не важливо розуміти відповідь на питання, навіщо.

Перевагами технічного аналізу є:

1. Фокусування на ціні. Аналітики, що використовують технічний аналіз вважають, що зосереджуючись на цінових коливаннях, вони зосереджуються на майбутньому, оскільки ринок слугує попереджуючим індикатором для всієї економіки та може передбачати стан економіки через 6—9 місяців.

2. Врахування попиту та пропозиції. Більшість аналітиків враховують ціни відкриття та закриття, а також найвищу та найменшу ціни, при аналізі цінових коливань фінансового інструменту. Окремо, вони не здатні повідомити багато, однак при їх спільному використанні можна отримати дані про взаємодію попиту та пропозиції на фінансовий актив. У загальному випадку, підвищення ціни свідчить про зростання попиту, а зниження — про зростання сили пропозиції.

3. Визначення рівнів опору та підтримки. Вони зазвичай визначаються періодами застою (зонами торгівлі), коли ціни рухаються всередині певного діапазону протягом тривалого часу. Якщо ціна стає більшою ніж верхня межа діапазону, то попит

стає сильніший. Якщо ціна опускається нижче нижньої межі — силу набирає пропозиція.

4. Графічне відображення історії цін. За допомогою графіків історії цін можна визначити наступне: реакцію ринку до та після важливих подій; минулу та поточну волатильність; історію об'ємів торгів; відносну силу фінансового інструменту порівняно з усім ринком.

5. Допомога при визначенні точки входу на ринок. Зазвичай аналітики використовують фундаментальний аналіз для визначення об'єкту вкладення коштів, а технічний аналіз — для визначення оптимального часу вкладення.

Також технічний аналіз має ряд недоліків, серед яких:

1. Значний суб'єктивізм. Технічний аналіз фінансових інструментів є вільним для інтерпретації і кожен сигнал може трактуватися по-різному різними аналітиками. Також суб'єктивізм виявляється у психологічному настрої торговця.

2. Затримки при аналізі. Найчастіше технічний аналіз критикують за запізнення, внаслідок яких винагорода за ризик зменшується.

3. Одночасна наявність різнопланових сигналів. Навіть при наявності чітких та однозначних сигналів певних подій, завжди будуть наявні сигнали, що свідчать про інші, іноді навіть протилежні, тенденції.

4. Кожен фінансовий інструмент має власні унікальні риси. Завдяки цьому неможливо стверджувати, що певний метод технічного аналізу буде працювати однаково для кожного фінансового інструменту, навіть незважаючи на те, що більшість принципів технічного аналізу є універсальними.

Запропонований підхід, що ґрунтується на використанні інструментарію нечіткої логіки, повинен усунути такі недоліки технічного аналізу. Як суб'єктивізм (штучна система не має таких характеристик, як власні уподобання або настрої), одночасна наявність різнопланових сигналів (нечітка модель, навчена на достатній кількості даних, здатна розрізнити сигнали за рівнем значущості) та унікальні властивості окремих фінансових інструментів (широкий набір можливостей нечіткої логіки дозволяє побудувати моделі окремо для кожного виду фінансових інструментів та ефективно їх використовувати).

За своєю суттю технічний індикатор є впорядкованим набором даних, сформованих шляхом застосування відповідних формул до цінових даних фінансового інструменту. До цінових даних відносяться ціна відкриття, закриття, максимуму та мінімуму, а також їх комбінації.

Технічні індикатори покликані виконувати три основні функції: повідомити, підтвердити, спрогнозувати. Індикатор виконує функцію повідомлення для того, щоб аналітик звернув увагу на ситуацію з певним фінансовим інструментом. Індикатор може використовуватись для підтвердження сигналу іншого індикатора. І звичайно, індикатори можуть використовуватись для прогнозування майбутнього розвитку ціни.

У даному дослідженні використовуються такі технічні індикатори: Moving Average Envelopes, Price Channels, Bollinger Band %B, Money Flow Index, Moving Average Convergence-Divergence, MACD-Histogram, Aroon, Commodity Channel Index, Rate of Change, Chaikin Money Flow, Average Directional Index.

Для технічного аналізу притаманна така статистична проблема, як мультиколінеарність. Це означає багаторазове використання інформації одного типу. В технічному аналізі така ситуація стає результатом одночасного використання індикаторів, які продукують схожі результати обчислень та аналізу. Враховуючи поставлену задачу та специфіку методів прогнозування, які були використані в даному дослідженні, обрані індикатори було розбито на наступні категорії:

1. Трендові індикатори: Moving Average Envelopes, Price Channels, Bollinger Bands %B.
2. Трендові осцилятори: Moving Average Convergence Divergence, MACD-Histogram.
3. Моментні індикатори: Rate of Change, Commodity Channel Index, Aroon.
4. Індикатори об'єму торгів: Chaikin Money Flow, Money Flow Index.
5. Індикатор підтвердження тренду: Average Directional Index.

Зробимо невеликий екскурс в теорію нечіткої логіки. Нечітка логіка — це різновид багатозначної логіки, в якій значення істинності задаються лінгвістичними змінними або такими термами лінгвістичною зміною «істинність» як: «дуже істинно», «майже істинно», «трохи хибно» тощо. Ці лінгвістичні значення представляються нечіткими множинами. Правила виконання нечітких логічних операцій отримують з булевих логічних операцій за допомогою принципу нечіткого узагальнення.

Лінгвістичною змінною називається така змінна, значеннями якої є слова або словосполучення деякої природної чи штучної мови. Множина усіх можливих значень лінгвістичної змінної називається терм-множиною. Кожний елемент терм-множини називається термом. У теорії нечітких множин терм задається функцією належ-

ності. При побудові функцій належностей за експертними оцінками найбільше поширення отримали методи на основі парних порівнянь та статистичної обробки експертної інформації.

Лінгвістична змінна задається п'ятіркою $\langle x, T, U, G, M \rangle$, де x — ім'я змінної, T — терм-множина, кожен елемент якої (терм) представляється як нечітка множина на універсальній множині U , G — синтаксичні правила, часто у вигляді граматики, що породжують нові правила, M — семантичні правила, що задають функції належності нечітких термів, породжених синтаксичними правилами G .

Нечітким висновком називається апроксимація залежності $D = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ за допомогою нечітких правил \langle Якщо — тоді \rangle та нечітких логічних операцій.

Нечіткою базою знань називається сукупність нечітких правил \langle Якщо — тоді \rangle , які віддзеркалюють взаємозв'язок між входами та виходом об'єкта, що досліджується. Формат нечітких правил такий:

Якщо \langle антецедент правила \rangle , тоді \langle консеквент правила \rangle .

Антецедент правила являє собою твердження типу « x є високим», де «високий» — це терм, що заданий нечіткою множиною на універсальній множині лінгвістичної змінної x . Консеквент правила — це твердження типу « $D \in d$ ». Багатовимірні залежності доцільно задавати нечіткими правилами з логічними операціями ТА і АБО. Правила зручно формувати так, щоб всередині змінні поєднувалися по ТА, а в базі знань правила з'єднувалися логічною операцією АБО.

До баз знань висуваються наступні вимоги повноти:

1. Повинне існувати хоча б одне правило для кожного лінгвістичного терму вихідної змінної.

2. Для будь-якого терму вхідної змінної повинне існувати хоча б одне правило, в якому цей терм використовується в якості передумови (антецеденту).

У загальному випадку механізм логічного висновку включає чотири етапи: введення нечіткості (фазифікація), нечіткий висновок, композиція та приведення до чіткості, або дефазифікація.

Алгоритми нечіткого висновку розрізняються головним чином за видом правил, що використовуються, логічних операцій та різновидом методу дефазифікації. Розроблені моделі нечіткого висновку Мамдані, Сугено, Ларсена, Цукамото. Найбільш розповсюдженою є модель Мамдані. В ній використовується мінімаксна композиція нечітких множин. Дана модель полягає в такій послідовності дій:

1. Процедура фазифікації: визначаються ступені істинності, тобто значення функцій належності для лівих частин кожного

правила (антецедентів). Для бази правил з m правилами визначимо ступінь істинності як $A_{ik}(x_k), i = 1..m, k = 1..n$.

2. Нечіткий висновок. Спочатку визначаються рівні «відсічення» для лівої частини кожного з правил: $\alpha_i = \min_i(A_{ik}(x_k))$. Потім знаходяться «відсічені» функції належності: $B_i^*(y) = \min_i(\alpha_i, B_i(y))$.

3. Композиція, або об'єднання отриманих відсічених функцій, для чого використовується максимальна композиція нечітких множин: $MF(y) = \max_i(B_i^*(y))$, де $MF(y)$ — функція належності підсумкової нечіткої множини.

4. Дефазифікація, або приведення до чіткості. Існує багато методів дефазифікації (метод центру тяжіння, метод медіани тощо).

Отже, перейдемо до визначення сигналів технічних індикаторів, які можна використати в побудованій моделі, та формування параметрів нечіткої моделі.

Індикатор Moving Average Envelopes може використовуватись для визначення стрімких рухів, що свідчать про початок тренду. Якщо ціна закриття стає більшою ніж верхня межа, то це свідчить про розвиток висхідного тренду. Чим більше та довше ціна закриття переважає верхню межу індикатора, тим сильнішим стає висхідний тренд. Те ж саме, можна сказати і про спадний тренд — падіння ціни нижче нижньої межі свідчить про розвиток спадного тренду. Тривале перебування під межею є ознакою сильного спадного тренду. Якщо ж фінансовий інструмент явно перебуває в зоні торгівлі, то названі сигнали свідчать про наявність ознак перекупівлі та перепродажу на ринку.

Оскільки сигнали виникають при взаємодії ціни закриття з межами індикатора, то для побудови моделі зручніше розбити індикатор на дві складових — для верхньої та нижньої межі відповідно. Також для аналізу доцільніше взяти значення різниці між ціною закриття та межею індикатора. Тобто, отримуємо такі лінгвістичні змінні:

$$\begin{aligned} dMAEUpper &= \{\langle\text{low}\rangle, \langle\text{medium}\rangle, \langle\text{big}\rangle\} \\ dMAELower &= \{\langle\text{low}\rangle, \langle\text{medium}\rangle, \langle\text{big}\rangle\} \end{aligned}$$

Індикатор Price Channels є ідентичним до попереднього. Він може використовуватись для визначення початку тренду. Якщо ціна закриття стає більшою ніж верхня межа, то це свідчить про розвиток висхідного тренду. Чим більше та довше ціна закриття переважає верхню межу індикатора, тим сильнішим стає висхідний тренд. Те ж саме, можна сказати і про спадний тренд — па-

діння ціни нижче нижньої межі свідчить про розвиток спадного тренду. Тривале перебування під межею є ознакою сильного спадного тренду. Якщо ж фінансовий інструмент явно перебуває в зоні торгівлі, то названі сигнали свідчать про наявність ознак перекупівлі та перепродажу на ринку.

Цей індикатор також доцільно розбити на дві складові та розрахувати різниці ціни закриття та меж.

Отже, отримуємо такі лінгвістичні змінні:

$$\begin{aligned}dPC_{Upper} &= \{\langle\text{low}\rangle, \langle\text{medium}\rangle, \langle\text{big}\rangle\}, \\dPC_{Lower} &= \{\langle\text{low}\rangle, \langle\text{medium}\rangle, \langle\text{big}\rangle\}.\end{aligned}$$

Індикатор Bollinger Band %B є похідним від індикатора Bollinger Bands. Останній, у свою чергу, є аналогом індикаторів MAE та PC. Індикатор BB є нормалізованим варіантом обрамленого індикатора Bollinger Bands та рухається навколо значення 0,5. Верхньою та нижньою межами є 0 та 1 відповідно. Вихід за вказані межі вважається сигналом до ситуацій перекупівлі та перепродажу.

Сигналом ідентифікації висхідного тренду є перевищення значення 0,8, а спадного — падіння значення нижче 0,2.

Отже, можемо сформулювати наступну лінгвістичну змінну:

$$BB = \{\langle\text{very low}\rangle, \langle\text{low}\rangle, \langle\text{medium}\rangle, \langle\text{big}\rangle, \langle\text{very big}\rangle\}.$$

Індикатор Money Flow Index генерує сигнали, що дозволяють визначити рівні перекупівлі та перепродажу на ринку. Оскільки цей індикатор рухається навколо значення 50, то встановлено, що при перевищенні значення 80 виникає ситуація перекупівлі та з'являються ознаки формування висхідного тренду. А при падінні нижче 20 — виникає ситуація перепродажу та з'являються ознаки спадного тренду.

Отже, сформуємо наступну лінгвістичну змінну:

$$MFI = \{\langle\text{very low}\rangle, \langle\text{low}\rangle, \langle\text{medium}\rangle, \langle\text{big}\rangle, \langle\text{very big}\rangle\}.$$

Індикатор Moving Average Convergence Divergence є унікальним, тому що він поєднує риси моментного та трендового індикаторів. Відповідно збільшується кількість сигналів, які генерує індикатор. Їх можна розділити на три категорії: перетин з центральною лінією, перетин із сигнальною лінією та взаємний рух з графіком ціни. Сигнали, що генеруються при перетині з сигнальною лінією буде розглянуто далі, під час опису індикатора MACD Histogram. Важливим для моделі, що проектується, є перетин індикатора з центральною лінією. Центральною вважається

лінія, що проходить через 0. Коли індикатор перетинає цю лінію та стає додатним, це є ознакою формування висхідного тренду. Відповідно, якщо індикатор перетинає центральну лінію та стає від'ємним — формується спадний тренд. Однак, варто зауважити, що ці правила не діють у зонах торгівлі. Для зручності обчислень краще розрахувати різницю між значенням індикатора та центральною лінією.

Отримаємо таку лінгвістичну змінну:

$$dMACD = \{\langle \text{very low} \rangle, \langle \text{low} \rangle, \langle \text{big} \rangle, \langle \text{very big} \rangle\}.$$

Індикатор MACD Histogram є похідним від індикатора MACD і розраховується як різниця між значенням індикатора MACD та значенням сигнальної лінії (середня ковзна індикатора з періодом 9 днів). Тобто, сигнали, що генеруються при перетині індикатора MACD з його сигнальною лінією краще інтерпретувати як перетин індикатора MACD Histogram з центральною (нульовою) лінією.

Отже, отримаємо таку лінгвістичну змінну:

$$histMACD = \{\langle \text{very low} \rangle, \langle \text{low} \rangle, \langle \text{big} \rangle, \langle \text{very big} \rangle\}.$$

Індикатор Aroon складається з двох окремих індикаторів: Aroon-Up та Aroon-Down. n -денний Aroon-Up визначає кількість днів, що пройшли з моменту настання n -денного максимуму. Відповідно, n -денний Aroon-Down визначає кількість днів, що пройшли з моменту настання n -денного мінімуму. Для відстеження появи нового тренду система індикаторів Aroon повинна пройти три етапи (послідовність етапів не важлива): індикатори Aroon-Up та Aroon-Down повинні перетнутись, індикатори повинні перетнути центральну лінію (50) та одна з ліній повинна наблизитись до верхньої межі (100). Тобто, для висхідного тренду повинні виконатись такі умови: Aroon-Up перетинає Aroon-Down та стає більшою за значенням; потім значення Aroon-Up стає більше 50, а значення Aroon-Down — менше; і в кінці Aroon-Up досягає значення 100, а Aroon-Down стає дуже малим. Аналогічні кроки виконуються і для спадного тренду: Aroon-Down перетинає Aroon-Up та стає більшою за значенням; потім значення Aroon-Down стає більше 50, а значення Aroon-Up — менше; і в кінці Aroon-Down досягає значення 100, а Aroon-Up стає дуже малим.

Для моделі, що проектується доцільно виділити три змінних: Aroon-Up та Aroon-Down, а також різницю між ними ($dAroon = AroonUp - AroonDown$). Тобто маємо такі нечіткі змінні:

dAroon = {«big negative», «negative», «positive», «big positive»};
AroonUp = {«very low», «low», «big», «very big»};
AroonDown = {«very low», «low», «big», «very big»}.

Індикатор CCI вимірює різницю між зміною ціни фінансового інструменту та зміною середньої ціни фінансового інструменту. Високі додатні значення свідчать про те, що ціни знаходиться вище середнього значення, що є ознакою сили інструменту. Низькі від'ємні значення свідчать про слабкість інструменту, оскільки ціна знаходиться нижче середнього рівня. Індикатор може використовуватись як синхронний або випереджаючий індикатор. При використанні CCI як синхронного індикатора, сигналом початку висхідного тренду є перевищення значенням індикатора відмітки 100. Відповідно, сигналом початку спадного тренду є падіння значення індикатора нижче рівня — 100. При використанні індикатора як випереджаючого можна визначити рівні перекупівлі та перепродажу, а також виявити ознаки зміни тренду.

Отже, утворимо лінгвістичну змінну:

CCI = {«very low», «low», «medium», «big», «very big»}.

Індикатор Rate of Change вимірює відсоткову зміну ціни за певний період часу. В загальному, додатне значення індикатора свідчить про зростання ціни, а від'ємне — про зниження. Не зважаючи на те, що індикатор є моментним індикатором та діє краще в зонах торгівлі або зигзагоподібних трендах, він допомагає визначити наявність та напрям тренду. Важливим є період, що використовується для розрахунку значення індикатора. Зміна тренду зазвичай помічається спочатку при коротшому значенні індикатора, а потім розповсюджується на всі часові рамки.

Утворимо лінгвістичну змінну:

ROC = {«very low», «low», «big», «very big»}.

Індикатор Chaikin Money Flow використовується для визначення сили попиту або пропозиції на ринку. Індикатор рухається навколо центральної лінії (нульової). Додатне значення індикатора свідчить про зростання сили попиту, а від'ємне — про зростання сили пропозиції. Однак рекомендується використовувати тільки значення індикатора, які за мо-

дулем більші ніж 0,05, щоб уникнути шумів та знизити хибність сигналів.

Утворимо лінгвістичну змінну:

$$CMF = \{\langle\text{very low}\rangle, \langle\text{low}\rangle, \langle\text{big}\rangle, \langle\text{very big}\rangle\}.$$

Індикатори Average Directional Index (ADI), Minus Directional Indicator (-DI) та Plus Directional Indicator (+DI) представляють групу індикаторів, що формують єдину торговельну систему. Індикатор ADI вимірює силу тренду без прив'язки до напрямку тренду. Інші два індикатори, -DI та +DI, доповнюють ADI та допомагають визначити напрям тренду. Використання системи загалом дозволяє визначити як напрям, так і силу тренду. Однак, варто зауважити, що система розроблялась для торгівлі товарами та валютами. Тому при застосуванні цієї системи до інших фінансових інструментів потрібно бути обережним та підтверджувати сигнали іншими індикаторами. В дослідженні буде використовуватись лише складова ADI для підтвердження наявності тренду та визначення його сили. Вважається, що тренд є сильним, якщо значення індикатора є більшим ніж 25, а при значенні індикатора меншому ніж 20 тренд відсутній. Зважаючи на «сіру зону» між значеннями 20 та 25, аналітики частіше використовують значення 20 як межу між наявністю ознак тренду та їх відсутністю.

Утворимо лінгвістичну змінну:

$$ADI = \{\langle\text{very low}\rangle, \langle\text{low}\rangle, \langle\text{medium}\rangle, \langle\text{big}\rangle, \langle\text{very big}\rangle\}.$$

Вихідними змінними в моделі, що будується є напрям тренду (trend direction — TD) та сила тренду (trend strength — TS). Напрямок тренду показує, які зміни в напрямі руху цінової кривої варто очікувати, а сила тренду — ймовірність, з якою ці зміни стануться.

Сформуємо для них лінгвістичні змінні:

$$TD = \{\langle\text{downtrend}\rangle, \langle\text{neutral}\rangle, \langle\text{uptrend}\rangle\};$$

$$TS = \{\langle\text{weak}\rangle, \langle\text{neutral}\rangle, \langle\text{strong}\rangle\}.$$

На рис. 1 наведено приклад функції належності нечіткої змінної ADI. Для всіх створених нечітких змінних було побудовано аналогічні функції.

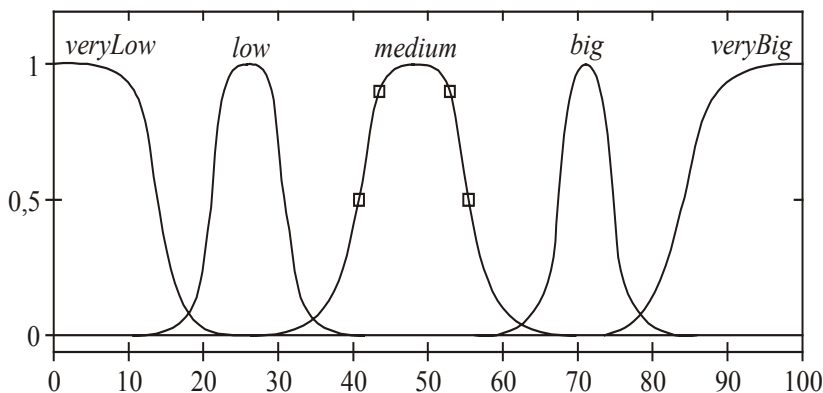


Рис. 1. Функції належності нечіткої змінної ADI

Використовуючи інструменти комбінаторики можна визначити, що для висхідного (терм «uptrend») та спадного (терм «downtrend») можливо створити по 1062882 правил. Для зони торгівлі (терм «neutral») доступно 6912 можливих правил. Формування всіх 2132676 правил значно перевантажить базу знань та модель, що будується. Для запобігання зайвого навантаження було прийнято рішення розбити нечітку систему на три окремих, залежно від ступеня чутливості системи. Перша система — якій притаманна висока чутливість — прийматиме рішення на основі комбінацій двох індикаторів. Для неї характерними будуть низька точність прогнозу та певне випередження руху ціни. Система з помірною чутливістю буде приймати рішення на основі комбінацій трьох індикаторів. Для неї характерними будуть середня точність прогнозу та незначне випередження руху ціни. Третьою є система з низькою чутливістю, яка буде характеризуватись високою точністю прогнозу, однак можливе запізнення прогнозу.

Процес відбору правил нечіткого висновку з усіх можливих варіантів було автоматизовано з використанням мови програмування Java та інструментарію для розробників JDK (Java Development Kit).

Процес автоматизації почався з кодування термів нечітких змінних числовими кодами. В табл. 1—17 наведено процес кодування нечітких змінних.

Табл. 1

Нечітка змінна:
dMAEUpper
Терм
Код
none
0
low
1
medium
2
big
3

*Табл. 5**Табл. 2*

Нечітка змінна:
dMAELower
Терм
Код
none
0
low
1
medium
2
big
3

*Табл. 6**Табл. 3*

Нечітка змінна:
dPCUpper
Терм
Код
none
0
low
1
medium
2
big
3

*Табл. 7**Табл. 4*

Нечітка змінна:
dPCLower
Терм
Код
none
0
low
1
medium
2
big
3

Табл. 8

Нечітка змінна:
BB
Терм
Код
none
0
veryLow
1
low
2
medium
3
big
4
veryBig
5

Табл. 9

Нечітка змінна:
MFI
Терм
Код
none
0
veryLow
1
low
2
veryBig
3
big
4
veryBig
5

Табл. 10

Нечітка змінна:
dMACD
Терм
Код
none
0
veryLow
1
big
2
veryBig
3
low
4

Табл. 11

Нечітка змінна:
histMACD
Терм
Код
none
0
veryLow
1
big
2
veryBig
3
low
4

Табл. 12

Нечітка змінна:
dAroon
Терм
Код
none
0
bigNegative
1
negative
2
bigPositive
3
positive
4

Нечітка змінна:
AroonUp
Терм
Код
none
0
veryLow
1
low
2
veryBig
3
big
4

Нечітка змінна:
AroonDown
Терм
Код
none
0
veryLow
1
big
2
veryBig
3
low
4

Нечітка змінна:
CCI
Терм
Код
none
0
veryLow
1
medium
2
veryBig
3
low
4
big
5

Табл. 13

Табл. 14

Табл. 15

Табл. 16

Табл. 17

Нечітка змінна: ROC	Нечітка змінна: CMF	Нечітка змінна: ADI	Нечітка змінна: TD	Нечітка змінна: TS
Терм	Терм	Терм	Терм	Терм
Код	Код	Код	Код	Код
none	none	none	none	none
0	0	0	0	0
veryLow	veryLow	veryLow	downtrend	weak
1	1	1	1	1
low	big	low	neutral	neutral
2	2	2	2	2
veryBig	veryBig	veryBig	uptrend	strong
3	3	3	3	3
big	low	big		
4	4	4		
		medium		
		5		

Наступним кроком є формування всіх можливих комбінацій вхідних змінних, щоб отримати їх загальну кількість та почати процес відсіювання. Формування всіх правил здійснюється методом простого перебору. Після виконання програми формується файл з правилами. Кожне правило має вигляд рядка файлу з 15 цифр, що відповідають кодам вхідних змінних, наприклад, «0 0 3 0 0 3 0 0 4 3 0 0 0 0 4».

Процес відсіювання відрізняється залежно від того, для якої комбінації вихідних змінних формується правило. Загальну схему процесу відсіювання можна представити наступним чином. Правило відсіюється якщо:

- у правилі використовується комбінація з більш ніж 6 вхідних змінних;
- у правилі використовується комбінація з вхідних змінних, що належать до однієї групи;
- правило підпадає під додаткові умови комбінації вихідних змінних.

Наступним кроком є поєднання комбінацій вхідних змінних з відповідними комбінаціями вихідних змінних. Цей процес реалізовано шляхом зчитування рядків комбінацій вхідних змінних та приєднання до них відформатованого рядка з вихідними змінними та вагами правил. Наприклад, для сильного висхідного тренду повне правило матиме вигляд «2 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 0 3 2 4, 3 3 (1): 1».

Фрагмент бази правил наведено в табл. 18.

Таблиця 18

Фрагмент бази правил нечітких моделей																	
Вхідні змінні													Вага		Вихідні змінні		
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	w	y_1	y_2
—	—	—	—	VL	—	—	L	BN	—	B	—	—	L	VB	w_{363}	DT	S
—	—	—	—	VL	—	VL	—	BN	—	B	—	—	VL	VB	w_{364}	DT	S
—	—	—	—	VL	—	L	—	BN	—	B	—	—	VL	VB	w_{365}	DT	S
—	—	—	—	VL	L	—	L	BN	—	VB	—	—	—	VB	w_{366}	DT	S
—	—	—	—	L	—	—	VL	BN	—	B	—	—	L	B	w_{367}	DT	S
—	—	—	—	L	—	—	VL	N	—	B	—	—	L	B	w_{368}	DT	S
—	—	—	—	L	—	—	L	BN	—	VB	—	—	L	B	w_{369}	DT	S
—	—	—	—	L	—	VL	—	BN	—	B	—	—	VL	VB	w_{370}	DT	S
—	—	—	—	L	L	—	VL	BN	—	B	—	—	—	VB	w_{371}	DT	S
—	—	—	M	—	—	—	L	N	—	B	—	—	VL	VB	w_{372}	DT	S
—	—	—	M	—	VL	—	VL	N	—	B	—	—	—	VB	w_{373}	DT	S
—	—	—	M	—	L	—	VL	BN	—	VB	—	—	—	VB	w_{374}	DT	S

Останнім етапом є перевірка повноти бази правил. Для цього необхідно зчитати кожне правило виділити з нього числа, що відповідають значенням вхідної змінної, та перевірити чи використовуються в базі всі можливі варіанти значень вхідної змінної.

Результат формування бази правил копіюється в файл з розширенням *.fis у підрозділ [Rules], а кількість правил записується у змінну NumRules підрозділу [System].

Для реалізації спроектованої моделі та створення програмного засобу, який використовує дану модель у процесі прийняття рішень, було обрано середовище MATLAB.

Для будь-якої побудованої моделі важливим є процес перевірки її адекватності. За основу для проведення експерименту були взяті статистичні дані компанії Apple за період з 1 лютого 2005 року по 12 червня 2009 року. Всього було опрацьовано 1099 значень цін закриття та відкриття, максимальної та мінімальної ціни, а також об'єму торгів.

Перевірка ефективності та надійності системи проводилась шляхом порівняння різниці значень вихідної змінної «trend direction» за поточний та попередній періоди з різницею значень цін закриття за поточний та попередній періоди. Оскільки експеримент проводився з використанням цін закриття, то прогноз здійснювався на один день.

Найкращу точність прогнозу показала система з високою чутливістю (824 вгадування напрямку руху ціни закриття з 1099 випадків, що становить 75 %). Системи з помірною та низькою чутливістю показали однаковий результат достовірності прогнозу (703 вгадування, що становить 64 %).

Варто зауважити, що жодна з систем не проходила процесу навчання, тобто можна спрогнозувати, що після проведення оптимізації структури системи (вибір оптимальної кількості правил, встановлення адекватних ваг правил, налагодження функцій належності всіх нечітких термів тощо) точність прогнозу може суттєво підвищитись.

У результаті дослідження був розроблений методологічний підхід та створено на його основі моделі для підтримки процесу прийняття рішень під час торгівлі фондовими активами, використовуючи інструментарій нечіткої логіки. В ході роботи було визначено перелік індикаторів технічного аналізу ринку, які найкраще підходять для використання в моделі нечіткого висновку. Обрані технічні індикатори було класифіковано та розбито на функціональні групи, що забезпечило уникнення мультиколінеарності (ситуації, коли різні індикатори генерують аналогічні сигнали).

У процесі формування бази правил нечіткого висновку було розроблено алгоритм автоматизації цього процесу, який полягав у

систематизації та уніфікації вхідних змінних, що дозволило виконати автоматичне формування комбінацій вхідних змінних. Також було розроблено алгоритм відбору комбінацій для забезпечення повноти бази правил та уникнення надлишковості та перевантаження моделі. Окрім безпосереднього завдання дослідження, було розроблено програмний модуль, що дозволяє відобразити всі історичні значення цін акцій та технічних індикаторів.

Таким чином, у даному дослідженні була досягнута мета його реалізації:

- досліджено й вивчено предметну область;
- проаналізовано існуючі методи розв'язання задачі, обґрунтована доцільність створення нової методології;
- розроблено методологічний підхід підтримки процесу прийняття рішень під час торгівлі фондовими активами, використовуючи інструментарій нечіткої логіки;
- спроектовано моделі, що втілюють положення методології, на основі інструментарію нечіткої логіки та правил технічного аналізу ринку.

Розроблений методологічний підхід відзначається науковою новизною та практичною цінністю, яка полягає у розробленій економіко-математичній моделі прогнозування фінансових показників на підґрунті інструментарію нечіткої логіки. Також було проведено експериментальний аналіз побудованої системи на реальних даних. Він показав достатньо високий рівень ефективності, довів достовірність запропонованого підходу. Також, у результаті експериментального аналізу було визначено недоліки системи, усунення яких є завданням наступних досліджень та покликане підвищити ефективність побудованої моделі до максимально можливого рівня. Отримані в дослідженні результати мають практичну цінність у першу чергу для фінансових установ та трейдерів фондового ринку.

Література

1. *Ahmed A. Gamil, Raafat S. El-fouly, Nevil M. Darwish.* Stock Technical Analysis using Multi-Agent and Fuzzy Logic // World Congress on Engineering. — 2007. — № 4. — 6 с.
2. *Dr. Y. Shachmurove.* Applying artificial neural networks to Business, Economics and Finance. — University of Pennsylvania, Department of economics. — 2002. — 47 с.
3. *Hussein Dourra, Pepe Siy.* Investment using technical analysis and fuzzy logic // Fuzzy Sets and Systems. — 2002. — № 127. — С. 221—240.
4. *Jack Schwager.* Schwager on Futures: Technical Analysis. — Wiley. — 1995. — 784 с.

5. *Robert J. Van Eyden*. The Application of Neural Networks in the Forecasting of Share Prices. — Finance and Technology Publishing, 1996. — 285 с.
6. *R. Lawrence*. Forecasting stock prices using neural networks. — University of Manitoba, Department of Computer Science. — 1997. — 21 с.
7. *Robert R. Trippi, Jae Kyu Lee*. Artificial Intelligence in Finance and Investing: State-of-the-Art Technologies for Securities Selection and Portfolio Management. — 1996. — 250 p.
8. *Robert R. Trippi, Efraim Turban*. Neural Networks in Finance and Investing: Using Artificial Intelligence to Improve Real-World Performance // Revised Second Edition. — 1996. — 821 p.
9. *Robert R. Trippi*. Chaos & Nonlinear Dynamics in the Financial Markets // Theory, Evidence, and Applications. — 1995. — 500 p.
10. *Xu-Shen Zhou, Ming Dong*. Can Fuzzy Logic Make Technical Analysis 20/20? // Financial Analysts Journal. — 2004. — № 4. — С. 54—75.
11. *Y. Shachmurove, D. Witkowska*. Utilizing Artificial Neural Network Model to Predict Stock Markets. — University of Pennsylvania, University of Lodz. — 2000. — 26 с.
12. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. — М.: Мир, 1976. — 167 с.
13. Закон України «Про цінні папери та фондовий ринок».
14. *Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю.* Нечёткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие. — М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001. — 224 с.
15. *Матвійчук А. В.* Прогнозування розвитку фінансових показників із використанням апарату нечіткої логіки // Фінанси України. — 2006. — № 1. — С. 107—115.
16. *Матвійчук А. В.* Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка: Монографія. — К.: КНЕУ, 2011. — 439 с.
17. *Пол Гейк, Пітер Джексон*. Вчись аналізувати ринок. Методика й практика. — Львів, 1995.
18. Рабочая книга по прогнозированию: Ред. кол.: И. В. Бестужев-Лада (отв.ред. и др.). — М.: Мысль, 1982. — 430 с.
19. *Ротштейн А. П.* Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. — Винница: Універсум-Вінниця, 1999. — 320 с.
20. *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 452 с.
21. Теория прогнозирования и принятия решений / Под ред. С. А. Саркисяна. — М.: Высшая школа, 1977. — 351с.
22. *Эрик Л. Найман*. Малая энциклопедия трейдера: Третье издание. — М.: Альпина Паблишер, 2002. — 384 с.
23. *Яхьяева Г. Э.* Нечеткие множества и нейронные сети: Учебное пособие. — М.: ИНТУИТ, 2006. — 316 с.

Стаття надійшла до редакції 06.06.2011 р.