

Міністерство внутрішніх справ України
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ

В. Г. М'ячин, О. Л. Левін

**НЕЧІТКА ЛОГІКА: ІНСТРУМЕНТАРІЙ
АНАЛІЗУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

Навчально-методичний посібник

Дніпро
2026

УДК 510.64:004.8:34:330.4

М 99

*Схвалено Науково-методичною радою
Дніпровського державного університету
внутрішніх справ, протокол № 10 від 23.06.2026*

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Висоцький О. Ю. – доктор політичних наук, професор, професор кафедри міжнародних відносин Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Македон В. В. – доктор економічних наук, професор, професор кафедри маркетингу та логістики відносин Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Халапсіс О. В. – доктор філософських наук, професор, професор кафедри філософії і педагогіки НТУ «Дніпровська політехніка».

М'ячин В. Г., Левін О. Л.

М 99 Нечітка логіка: інструментарій аналізу невизначеності :
навч.-метод. посіб. / В. Г. М'ячин, О. Л. Левін. Дніпро :
Дніпров. держ. ун-т внутр. справ, 2026. 128 с.

ISBN 978-617-560-139-6

Навчально-методичний посібник підготовлено на основі сучасних науково-методичних підходів до аналізу невизначеності, положень класичної та нечіткої логіки, а також інструментарію моделювання правових, економічних і соціально-управлінських процесів. Навчальне видання розкриває можливості застосування нечіткої логіки для оцінювання ризиків, правової невизначеності, економічних станів і слабкоструктурованих ситуацій.

Навчально-методичний посібник призначено для здобувачів освіти, аспірантів, викладачів, науковців і практичних фахівців.

Автори:

М'ячин В. Г., професор, доктор економічних наук, професор кафедри соціально-економічних дисциплін Дніпровського державного університету внутрішніх справ;

Левін О. Л., доцент, кандидат історичних наук, доцент кафедри соціально-економічних дисциплін Дніпровського державного університету внутрішніх справ.

ISBN 978-617-560-139-6

© М'ячин В. Г., Левін О. Л., 2026

© ДДУВС, 2026

ЗМІСТ

Передмова	5
Розділ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ АНАЛІЗУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ЗАСОБАМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ	7
1.1. Поняття визначеності, ризику та невизначеності в сучасному науковому пізнанні	7
<i>Питання до самоконтролю</i>	16
1.2. Класична та нечітка логіка: сутність, принципи та сфери застосування	17
<i>Питання до самоконтролю</i>	38
1.3. Невизначеність у праві, економіці, соціології та політиці	39
<i>Питання до самоконтролю</i>	42
1.4. Нечітка логіка як інструментарій аналізу слабкоструктурованих процесів	43
<i>Питання до самоконтролю</i>	48
Розділ 2. ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В АНАЛІЗІ ПРАВОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	49
2.1. Особливості моделювання правової невизначеності	50
<i>Питання до самоконтролю</i>	54
2.2. Нечітко-логічний підхід до аналізу правової невизначеності	55
<i>Питання до самоконтролю</i>	59
2.3. Приклад побудови нечітко-логічної моделі .. в аналізі правового стану	60
<i>Питання до самоконтролю</i>	73
2.4. Аналіз та інтерпретація побудованої моделі	74
<i>Питання до самоконтролю</i>	76
Розділ 2. НЕЧІТКА ЛОГІКА В АНАЛІЗІ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СТАНІВ	77
3.1. Економічна невизначеність як об'єкт нечітко-логічного аналізу	77
<i>Питання до самоконтролю</i>	80
3.2. Нечітка логіка в оцінюванні економічних процесів і станів	81
<i>Питання до самоконтролю</i>	84

3.3. Приклад реалізації нечітко-логічної моделі оцінювання економічного ризику	86
<i>Питання до самоконтролю</i>	95
3.4. Приклад реалізації нечітко-логічної моделі оцінювання конкурентоспроможності підприємства	96
<i>Питання до самоконтролю</i>	104
Додатки	105
Список використаних джерел	123

ПЕРЕДМОВА

У сучасних умовах розвитку науки, економіки, права та управління дедалі більшого значення набуває проблема аналізу невизначеності. Складність соціально-економічних і правових процесів, динамічність зовнішнього середовища, неповнота інформації та неоднозначність оцінок зумовлюють необхідність використання таких методів дослідження, які дозволяють працювати не лише з точними кількісними даними, а й з якісними, лінгвістичними та експертними характеристиками. У цьому контексті особливе місце посідає нечітка логіка, що є ефективним інструментарієм аналізу складних, слабкоструктурованих і багатofакторних процесів.

Нечітка логіка дає змогу формалізувати поняття, які не мають чітко визначених меж, але активно використовуються у практиці наукового пізнання, правозастосування, економічного аналізу та управління. До таких понять належать «високий ризик», «низький рівень безпеки», «значний вплив», «істотна шкода», «розумний строк», «достатній рівень стійкості», «помірна конкурентоспроможність» та інші категорії, що не можуть бути повністю описані засобами класичної двозначної логіки. Саме тому нечітко-логічний підхід дозволяє розширити можливості традиційного аналізу, забезпечуючи перехід від жорсткого поділу на «істинне» і «хибне» до врахування проміжних ступенів істинності та належності.

Актуальність навчального посібника зумовлена потребою у формуванні в здобувачів освіти, науковців і практиків системного уявлення про теоретичні засади нечіткої логіки та можливості її застосування в аналізі правової й економічної невизначеності. У сучасних умовах ухвалення рішень дедалі частіше відбувається за неповної, суперечливої або нечітко структурованої інформації. Тому володіння інструментами нечіткого моделювання є важливою складовою підготовки фахівців, здатних аналізувати складні процеси, оцінювати ризики, формувати обґрунтовані висновки та ухвалювати рішення в умовах невизначеності.

Завданням навчального посібника є ознайомлення читачів з основними поняттями визначеності, ризику та невизначеності, сутністю класичної й нечіткої логіки, базовими операціями нечіткого логічного аналізу, поняттям нечіткої множини, функції належності та лінгвістичної змінної. Особлива увага приділяється практичним аспектам застосування

нечіткої логіки у праві й економіці, зокрема моделюванню правової невизначеності, оцінюванню економічних процесів і станів, аналізу економічного ризику та конкурентоспроможності підприємств.

Матеріал навчального посібника подано послідовно, логічно та доступно, що дозволяє поєднати теоретичне осмислення нечіткої логіки з її прикладним використанням. У посібнику розглянуто не лише загальні положення теорії нечітких множин, а й конкретні приклади застосування нечітко-логічних моделей у правових та економічних дослідженнях. Такий підхід сприяє кращому засвоєнню матеріалу, формуванню аналітичного мислення та розвитку навичок використання сучасного інструментарію для дослідження невизначеності.

Автори сподіваються, що навчальний посібник буде корисним здобувачам вищої освіти, аспірантам, викладачам, науковцям, фахівцям у сфері права, економіки, управління, аналітики та моделювання складних систем. Видання може бути використане під час вивчення дисциплін, пов'язаних з правовою невизначеністю, економічним аналізом, ризик-менеджментом, економічною безпекою, інтелектуальними системами підтримки ухвалення рішень та сучасними методами аналізу даних.

Розділ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ АНАЛІЗУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ЗАСОБАМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

1.1. Поняття визначеності, ризику та невизначеності в сучасному науковому пізнанні

У сучасному науковому пізнанні категорії визначеності, ризику та невизначеності є базовими для опису процесів, що відбуваються в природних, технічних, соціальних, політичних та економічних системах. Їх значення особливо зростає в умовах, коли дослідник або суб'єкт під час ухвалення рішень має справу не лише з точними кількісними параметрами, а й з описами типу *«високий рівень»*, *«помірне зростання»*, *«значний вплив»*, *«низька стабільність»*, тобто з лінгвістично поданою інформацією. Саме в таких ситуаціях класичний інструментарій виявляється недостатнім, а нечітка логіка набуває методологічної ваги як засіб формалізації й аналізу неповної, розпливчастої та гранульованої інформації. Традиційна математика орієнтована передусім на точні дані, тоді як у реальному світі людина дуже часто оперує саме неточними характеристиками на кшталт *«висока температура»*, *«висока швидкість»*, *«невеликий платіж»*, *«суттєвий інтерес»* тощо.

Сутність визначеності полягає в тому, що стан об'єкта, параметри процесу або наслідки рішення можуть бути встановлені однозначно. За умов визначеності дослідник має точні дані, чітко знає межі можливих станів системи та може користуватися класичними математичними моделями без істотної втрати змісту. У межах такого підходу ознака належності елемента до множини задається чітко: елемент або належить множині, або не належить їй. Формально це можна подати через характеристичну функцію чіткої множини:

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (1.1)$$

Цей вираз відображає класичну двозначну логіку, в якій проміжних станів між «так» і «ні» не існує. Саме такий підхід є природним для добре структурованих систем, в яких вхідні параметри вимірюються точно, зв'язки між змінними відомі, а результати можуть бути обчислені з високою достовірністю. Точні дані можуть бути отримані за допомогою високоточних технічних вимірювальних пристроїв, тоді як людина в

безпосередньому сприйнятті переважно використовує наближені оцінки, подані мовними категоріями.

Однак сучасне наукове пізнання дедалі частіше стикається не з абсолютною визначеністю, а з різними формами невизначеності. Невизначеність означає недостатність, неповноту, неточність або неоднозначність інформації про об'єкт, процес чи середовище його функціонування. Вона виникає тоді, коли неможливо точно описати систему, однозначно передбачити її поведінку або чітко встановити наслідки певного рішення. Така ситуація пов'язується з існуванням інформації, поданої у вигляді гранул, тобто узагальнених лінгвістичних описів, ширина яких залежить від потреб користувача, його інтелектуальних можливостей і контексту застосування інформації. Інформація, представлена у вигляді гранул з кінцевою ненульовою шириною, є нечіткою інформацією, а математичний апарат, який працює з нею, становить теорію нечітких множин.

На відміну від чіткої множини, у нечіткій множині належність елемента не зводиться до двох можливих значень. Вона визначається функцією належності, яка відображає ступінь належності елемента певному поняттю:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0; 1]. \quad (1.2)$$

Тут $\mu_A(x)$ показує, наскільки значення x відповідає нечіткому поняттю A . Якщо $\mu_A(x)=1$, елемент повністю належить множині; якщо $\mu_A(x)=0$, він не належить їй; проміжні значення відображають часткову належність. Саме цей перехід від бінарної до градуйованої оцінки створює принципово нові можливості для аналізу невизначеності. Це можна продемонструвати на прикладі швидкості: замість єдиного точного значення можна використовувати лінгвістичні гранули «низька», «середня», «висока» або ще більш деталізований набір «дуже низька», «низька», «середня», «висока», «дуже висока». Отже, нечітка логіка не усуває неточність, а робить її формалізованою та придатною для моделювання.

У цьому контексті важливо розмежувати невизначеність і ризик. *Ризик є специфічною формою невизначеності*, за якої можливі наслідки дії або рішення відомі хоча б у загальних рисах, а ймовірності їх настання можуть бути оцінені або експертно, або статистично. Тобто ризик пов'язаний не просто з браком інформації, а з можливістю кількісного оцінювання альтернативних результатів. У найпростішому випадку ризик можна подати як математичне сподівання можливих втрат:

$$R = \sum_{i=0}^n p_i L_i, \quad (1.3)$$

де p_i – імовірність i -го сценарію, а L_i – пов'язані з ним втрати. У спрощеному вигляді для одного домінантного сценарію використовують вираз

$$R = pL. \quad (1.4)$$

Отже, якщо дослідник має можливість оцінити імовірності подій та їхні наслідки, йдеться про ризик. Якщо ж імовірності не можуть бути встановлені достовірно, а сама структура можливих станів є розмитою, маємо справу з ширшою категорією невизначеності. Саме тут інструментарій нечіткої логіки є особливо корисним, бо дозволяє працювати там, де ймовірнісна модель є або надто грубою, або взагалі непридатною.

Визначеність передбачає чітко окреслені параметри, ризик – відомі варіанти розвитку подій з оцінюваними імовірностями, а невизначеність – ситуацію, в якій точний опис структури, меж, причин і наслідків або відсутній, або неповний. Для сучасного наукового аналізу це розмежування має не лише теоретичне, а й прикладне значення. Якщо дослідник помилково трактує невизначеність як ризик, він може надати штучну точність тому, що за своєю суттю є якісно-лінгвістичним і нечітким. Якщо ж навпаки розглядати ризикову ситуацію лише як невизначену, можна втратити переваги кількісної оцінки та прогнозування.

Особливе місце в осмисленні невизначеності має теза про її зв'язок зі складністю систем. Для простих систем із невеликою кількістю входів можна використовувати дуже малі інформаційні гранули й будувати високоточні моделі. Проте зі зростанням складності системи, кількості змінних, кількості зв'язків і нелінійності поведінки виникає необхідність переходу до більших гранул, тобто до використання нечіткої інформації. Це пояснюється тим, що точне моделювання складної системи або потребує надмірного обсягу даних, або втрачає інтерпретованість, або стає практично неможливим.

У цьому зв'язку ключовим є принцип несумісності Л. Заде: у міру зростання складності системи здатність формулювати точні й водночас змістовні твердження про її поведінку зменшується до такого рівня, за яким точність і змістовність стають майже взаємовиключними характеристиками. Інакше кажучи, що складніша система, то важче описати її класичними засобами без спрощень, які руйнують зміст моделі. Саме тому нечітка логіка не є просто альтернативною математичною технікою; вона є відповіддю на об'єктивну межу

традиційного аналітичного апарату при дослідженні багатфакторних, слабкоструктурованих і динамічних систем.

Важливо звернути увагу на те, що гранульованість інформації пов'язана з природою людського мислення. Людина переважно не оперує тисячами точних числових оцінок у повсякденному сприйнятті, а використовує помірно деталізовані мовні категорії. Для опису параметра зазвичай застосовується обмежена кількість інформаційних гранул, і саме це робить нечітку логіку природною формою наближення до людського способу аналізу реальності. У такому сенсі невизначеність не повинна розглядатися лише як недолік інформації; вона є також відображенням когнітивної природи пізнання, у якому якісні характеристики нерідко передують кількісним.

Для складних соціально-економічних і політико-правових систем ця теза має особливу вагу. Такі системи характеризуються великою кількістю акторів, суперечливістю інтересів, нелінійністю взаємодій, залежністю від зовнішнього середовища, часовими лагами, інституційними обмеженнями та впливом поведінкових факторів. У них далеко не всі параметри можуть бути виміряні безпосередньо, а багато ключових характеристик формулюються саме у вигляді лінгвістичних категорій: «високий рівень довіри», «помірна політична стабільність», «низька правова визначеність», «значний регуляторний тиск», «середній інвестиційний ризик». Отже, невизначеність тут є не випадковим відхиленням, а фундаментальною властивістю об'єкта дослідження.

Ще одне важливе положення стосується того, що неточність пов'язана не лише з мовою чи експертними оцінками, а й із самою процедурою вимірювання. Кожна порція «*точної*» інформації на практиці також вимірюється з певною, інколи значною, похибкою, отже, в реальному сенсі вона також не є абсолютно точною. Звідси випливає важливий методологічний висновок: межа між визначеністю та невизначеністю в реальних дослідженнях є не абсолютною, а відносною. Ми говоримо про визначеність не тому, що параметр абсолютно точний, а тому, що похибка є прийнятною для поставленого завдання.

На цій основі доцільно ввести ще одну формалізацію, яка добре відображає різницю між чітким і нечітким описом. Якщо точне значення параметра x_0 можна подати у вигляді одноточкової множини, то лінгвістичне значення «середній», «високий», «низький» задається нечіткою множиною:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}. \quad (1.5)$$

У нечіткій логіці знак $\tilde{A}$ зазвичай означає нечітку множину, тобто: A – звичайна, чітка множина, $\tilde{A}$ – нечітка множина. Наприклад, якщо A – це просто множина чисел, то $\tilde{A}$ може означати нечітке поняття на кшталт «висока температура», «середній дохід», «низький ризик».

Тильда ($\sim$) зверху над літерою A показує, що множину задано не жорстко, а через ступінь належності від 0 до 1.

Така форма запису є принципово важливою для аналізу невизначеності, оскільки вона зберігає не одне число, а всю структуру поступового переходу між станами. Унаслідок цього дослідник працює не з жорсткими межами, а з плавними зонами переходу, що краще відповідає природі складних систем.

У межах сучасного наукового пізнання невизначеність має кілька джерел. По-перше, це інформаційна неповнота, коли немає достатніх даних про об'єкт. По-друге, це структурна складність, коли навіть за наявності великого масиву даних взаємозв'язки між змінними не можуть бути вичерпно формалізовані. По-третє, це динамічність середовища, коли параметри системи змінюються швидше, ніж будується модель. По-четверте, це мовно-поняттєва нечіткість, коли самі категорії аналізу мають оціночний, контекстуальний характер. І, нарешті, по-п'яте, це похибки вимірювання та шум у даних, через які спостережувані величини не повністю відображають реальний стан системи. При моделюванні реальних систем спостережувані дані можуть бути зашумленими, а частина входів узагалі лишатися неврахованою, що ще більше посилює невизначеність опису.

Невизначеність як характеристика складних систем виявляється також у тому, що збільшення обсягу інформації не завжди автоматично усуває проблему її інтерпретації. Існує поріг корисної точності: на практиці надмірне ускладнення моделі не завжди дає відчутний вигравш. Це пов'язано з хаотичними процесами в системах, комбінаційним вибухом можливих станів, неможливістю точного врахування всіх факторів, а також похибками вимірювання. Саме тому в низці випадків більш доцільною є не максимально точна, а адекватно гранульована модель, яка забезпечує достатню глибину опису та водночас зберігає інтерпретованість.

У прикладному аспекті це означає, що сучасна наука дедалі частіше відходить від ідеї абсолютної точності як єдиної норми раціональності. Для багатьох завдань важливішою є не числова надточність, а здатність моделі відображати суттєві зв'язки, підтримувати ухвалення рішень і

зберігати змістову адекватність. Саме тому *нечітка логіка* розглядається не як заперечення класичної логіки, а як її розширення для тих класів проблем, де двозначний опис виявляється недостатнім. *Теорія нечітких множин* у взаємодії зі звичайною математикою дає змогу обробляти й використовувати інформацію будь-якого типу, відкриваючи нові перспективи для науки.

Таким чином, визначеність, ризик і невизначеність слід розглядати не як ізольовані поняття, а як взаємопов'язані режими опису реальності. Визначеність відповідає ситуації чітко окреслених параметрів і однозначних моделей. Ризик відображає ситуацію, у якій можливі наслідки відомі й можуть бути оцінені через імовірності. Невизначеність є ширшою категорією, що охоплює неповноту, неточність, нечіткість і структурну складність. У сучасному науковому пізнанні саме нечітка логіка створює продуктивний міст між якісним людським мисленням і формалізованим аналізом складних систем. Її цінність полягає в тому, що вона дозволяє не ігнорувати невизначеність і не маскувати її штучною точністю, а перетворювати на предмет системного моделювання та обґрунтованого ухвалення рішень.

Оскільки *нечіткість* нерідко помилково ототожнюють з *імовірністю*, доцільно чітко розмежувати ці два поняття. У межах сучасного аналізу невизначеності зазвичай виокремлюють, зокрема, два її основні різновиди: *стохастичну* та *лексичну невизначеність*.

Прикладом стохастичної невизначеності може бути таке твердження: ймовірність того, що при одноразовому підкиданні грального кубика випаде число 6, дорівнює $1/6$.

Подія «випадання числа 6» у цьому випадку є *точно визначеною*, оскільки має однозначний зміст і означає появу лише одного конкретного результату. Точне значення ймовірності настання цієї події можна обчислити, знаючи кількість сприятливих результатів та загальну кількість усіх можливих рівноймовірних результатів:

$$P(A) = m / n, \quad (1.6)$$

де m – кількість сприятливих результатів, а n – загальна кількість усіх можливих результатів.

Для наведеного прикладу:

$$P(A) = 1 / 6. \quad (1.7)$$

Отже, *стохастична невизначеність* у цьому разі проявляється як імовірність настання конкретної, точно окресленої події. Інакше кажучи, невизначеність тут пов'язана не зі змістом самої події, а з тим, чи реалізується вона внаслідок випадкового перебігу подій.

Для глибшого розуміння природи нечіткості доцільно звернутися до прикладів, у яких невизначеність пов'язана не з імовірністю настання події, а із самим способом її словесного опису. Саме така ситуація характеризує *лексичну невизначеність*. На відміну від стохастичної невизначеності, де подія є чітко окресленою, але невідомо, чи відбудеться вона, у випадку *лексичної невизначеності* нечітким є сам зміст понять, за допомогою яких описують явище, процес або результат. У теорії нечітких множин це має принципове значення, оскільки дослідник стикається не з браком математичних даних як таких, а з розмитістю меж між смисловими категоріями. Саме на цій різниці між імовірністю і нечіткістю наголошується, коли розмежовують *стохастичну* та *лексичну невизначеність*.

Як приклад лексичної невизначеності можна розглянути твердження: «*Рівень правової визначеності цього нормативного акта є низьким*». На перший погляд таке висловлювання здається змістовно зрозумілим, однак за детальнішого аналізу виявляється, що воно містить принаймні два нечіткі поняття. По-перше, це власне «*правова визначеність*», а, по-друге, її оцінка як «*низької*». Обидва ці поняття не мають абсолютно жорстких меж, а тому їх сприйняття та інтерпретація можуть змінюватися залежно від досвіду, професійної підготовки, правової культури й практики тлумачення того, хто їх використовує.

Тож один юрист може вважати рівень правової визначеності низьким уже тоді, коли в тексті акта наявні оціночні поняття, неузгодженість термінології та відсутність чітких процедур реалізації норм. Інший фахівець назве той самий акт лише помірно невизначеним, якщо основні права, обов'язки та механізми застосування все ж формально закріплені. Для судді, який спирається на практику тлумачення, такий акт може бути прийнятним, оскільки його нечіткість компенсується усталеними підходами правозастосування. Однак для громадянина або суб'єкта господарювання цей самий акт може здаватися суттєво невизначеним, якщо він не дає однозначної відповіді на питання, як саме потрібно діяти в конкретній ситуації.

Саме в цьому і проявляється *лексична невизначеність*: об'єкт оцінки існує, але його опис здійснюється за допомогою понять, межі яких є рухомими, контекстно залежними та не зводяться до однозначного числового значення. Вислів «*низький рівень правової визначеності*» не означає, що зміст акта є абсолютно хаотичним або що його неможливо застосовувати. Натомість він фіксує певну градацію якості правового регулювання, але ця градація залишається нечіткою і потребує додаткової інтерпретації.

Інший приклад можна взяти з правозастосовної практики: *«Суд розглянув справу у розумний строк»*. Тут словосполучення *«розумний строк»* є типовим виявом *лексичної невизначеності*. Воно широко використовується у процесуальному праві, однак не має універсального числового еквівалента, який був би однаково справедливим для всіх категорій справ. Для нескладного адміністративного спору один строк може вважатися цілком розумним, тоді як для кримінального провадження з великою кількістю учасників, доказів та експертиз той самий часовий інтервал може бути або надто коротким, або, навпаки, цілком виправданим. Отже, поняття *«розумний»* не є випадковою стилістичною прикрасою; воно відображає ситуацію, коли опис явища вимагає гнучкої, градуйованої оцінки, а не жорсткого поділу на *«так»* або *«ні»*.

Схожим чином працюють і такі правові вирази, як *«істотна шкода»*, *«значний розмір збитків»*, *«належна обачність»*, *«виняткові обставини»*, *«грубе порушення»*, *«достатні підстави»*. Кожне з них має нормативне навантаження, але водночас передбачає певний простір для тлумачення. Наприклад, поняття *«істотна шкода»* може оцінюватися по-різному залежно від обсягу негативних наслідків, сфери правовідносин, соціального контексту та значущості порушеного інтересу. Те, що для одного випадку буде кваліфіковано як істотне порушення, в іншому контексті може бути оцінене як незначне. Отже, невизначеність у таких випадках закладена не в самому факті події, а в семантичних межах понять, за допомогою яких ця подія описується.

З цього випливає важливий висновок: людина у своїй практичній діяльності дуже часто ухвалює рішення не на основі абсолютно точних і формалізованих описів, а спираючись на приблизні, оцінні, інтуїтивно зрозумілі поняття. І це зовсім не означає, що таке мислення є помилковим або нефаховим. Навпаки, в багатьох випадках саме воно дозволяє ефективно орієнтуватися у складних ситуаціях, де повний точний опис або неможливий, або надто громіздкий. Нестача точної інформації про навколишню дійсність не є непереборною перешкодою для діяльності людини та ухвалення рішень, оскільки людина здатна використовувати нечіткі поняття як інструмент моделювання реальності.

Це особливо помітно у праві, де *формальна визначеність* поєднується з необхідністю врахування соціальної реальності, змінності обставин і множинності конкретних життєвих ситуацій. Якби кожне правове поняття мало абсолютно жорстку межу, право втратило б здатність гнучко реагувати на реальні суспільні відносини. Саме тому правова мова неминуче містить елементи нечіткості. Однак ця нечіткість

не є недоліком у буквальному сенсі. Вона відображає складність самого об'єкта регулювання і створює можливість для адаптивного застосування норм у різних контекстах.

У цьому плані лексична невизначеність означає невизначеність *опису*, а не невизначеність *існування* явища. Подія може бути цілком реальною та фактично встановленою, але її словесна кваліфікація залишається нечіткою. Наприклад, сам факт затримки розгляду справи може бути безсумнівним, однак питання, чи є цей строк «розумним» або «надмірним», уже належить до площини лексичної оцінки. Аналогічно факт заподіяння збитків може бути встановлений документально, але визначення їх як «значних» чи «незначних» потребує додаткового змістового тлумачення.

Отже, *лексична невизначеність* має справу з такими поняттями, які не можна повністю описати через чіткі межі без втрати їхнього реального змісту. Саме тому *нечітка логіка* і *теорія нечітких множин* є важливими не лише для технічних або математичних систем, а й для гуманітарних та соціально-правових досліджень. Вони дозволяють переводити оцінні, мовно розмиті категорії у формалізовану модель, зберігаючи при цьому їхню градуйовану природу. Це відкриває можливості для глибшого аналізу правових явищ, у яких ключову роль відіграють не абсолютно точні числа, а смислові переходи між «низьким», «середнім», «високим», «достатнім», «істотним» чи «розумним».

Отже, *лексична невизначеність* є невід'ємною характеристикою людського мислення та правової мови. Вона виникає там, де реальність описується через оцінні поняття, які не мають абсолютно фіксованих меж. На відміну від стохастичної невизначеності, що виражає ймовірність настання чітко визначеної події, лексична невизначеність пов'язана з нечіткістю самих смислових категорій. Саме ця форма невизначеності робить нечітку логіку особливо цінним інструментом для моделювання складних систем, у тому числі в правовій сфері.

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягає сутність понять «визначеність», «ризик» і «невизначеність» у сучасному науковому пізнанні?
2. Чому класичний інструментарій не завжди достатній для аналізу неповної, розпливчастої та гранульованої інформації?
3. У чому полягає відмінність між чіткою та нечіткою множиною?
4. Яку роль виконує функція належності в теорії нечітких множин?
5. Чим ризик відрізняється від ширшої категорії невизначеності?
6. Що означає принцип несумісності Л. Заде та чому він важливий для аналізу складних систем?
7. Які основні джерела невизначеності виокремлюються в сучасному науковому пізнанні?
8. У чому полягає відмінність між стохастичною та лексичною невизначеністю?
9. Чому поняття «розумний строк», «істотна шкода» або «значні збитки» можна вважати прикладами лексичної невизначеності?
10. Чому нечітка логіка є корисним інструментом для аналізу правової невизначеності?

1.2. Класична та нечітка логіка: сутність, принципи та сфери застосування

Логіка є однією з найдавніших наук, що вивчає закономірності правильного мислення, правила формування суджень та методи отримання достовірних висновків. Її витoki пов'язані з працями давньогрецького філософа Арістотеля, який заклав фундаментальні принципи формального аналізу мислення. Упродовж століть логіка розвивалася як універсальний інструмент пізнання, що дозволяє структурувати знання, виявляти причинно-наслідкові зв'язки та забезпечувати послідовність аргументації. Особливого значення вона набула в математиці, інформатиці, кібернетиці, правознавстві та системах підтримки ухвалення рішень.

Основою *класичної логіки* є припущення про те, що будь-яке твердження може перебувати лише в одному з двох можливих станів: істинному або хибному. Такий підхід отримав назву бінарної або двозначної логіки. У межах цієї концепції кожному висловлюванню присвоюється значення «1» (істина) або «0» (хиба), що створює чітку основу для формалізації процесів мислення та побудови логічних моделей. Саме завдяки простоті та однозначності класична логіка стала фундаментом сучасної математики, теорії алгоритмів та цифрових технологій [1].

Класична логіка базується на трьох фундаментальних законах. Першим є *закон тотожності*, відповідно до якого будь-яке поняття або висловлювання повинно залишатися незмінним в межах певного міркування. Другим є *закон несуперечності*, який стверджує, що два протилежні твердження не можуть бути одночасно істинними. Третім є *закон виключеного третього*, згідно з яким між істинністю та хибністю не існує проміжного стану. Сукупність цих законів забезпечує логічну послідовність та внутрішню узгодженість процесу міркування.

У межах *класичної логіки* широко використовуються логічні операції, які дозволяють формувати складні висловлювання на основі простих. До основних операцій належать *кон'юнкція*, *диз'юнкція*, *заперечення*, *імплікація* та *еквіваленція*. *Кон'юнкція* («І») є істинною лише тоді, коли істинними є всі складові висловлювання. *Диз'юнкція* («АБО») набуває значення істини, якщо хоча б один із компонентів є істинним. *Заперечення* змінює істинність висловлювання на протилежну. *Імплікація* відображає причинно-наслідковий зв'язок між твердженнями, тоді як *еквіваленція* встановлює їх логічну рівнозначність. Завдяки цим

операціям стає можливим формальне моделювання різноманітних процесів, включаючи алгоритми функціонування комп'ютерних систем, математичні докази та логічний аналіз складних явищ [2].

Незважаючи на значні переваги, *класична логіка* має низку обмежень, які стають особливо помітними під час аналізу складних соціально-економічних, технічних та гуманітарних систем. Головною проблемою є її неспроможність адекватно описувати ситуації, що характеризуються невизначеністю, неповнотою інформації або нечіткістю меж між поняттями. У реальному світі значна частина явищ не може бути однозначно віднесена до категорії істинних або хибних. Наприклад, такі поняття, як «високий рівень ризику», «достатня конкурентоспроможність», «ефективне управління» чи «значний вплив», не мають чітко визначених меж і часто потребують поступової оцінки.

Особливо яскраво обмеження *класичної логіки* проявляються у сфері права та соціального управління. Законодавчі норми нерідко містять оціночні поняття на кшталт «суттєва шкода», «значні збитки», «розумний строк» або «істотне порушення». Формальне застосування двозначної логіки в таких випадках може призводити до спрощення реальної ситуації та втрати важливих нюансів. Аналогічна проблема виникає під час оцінювання економічної безпеки підприємств, ризиків інноваційної діяльності, конкурентоспроможності організацій та інших складних характеристик, які не можуть бути описані лише категоріями «так» або «ні».

Ще одним недоліком *класичної логіки* є відсутність механізму врахування ступеня істинності тверджень. Якщо в реальному житті певне явище лише частково відповідає визначеним критеріям, класична логіка змушує ухвалювати однозначне рішення щодо його належності до певної категорії. Як наслідок, втрачається значна частина інформації, що може негативно впливати на якість аналізу та ухвалення управлінських рішень.

Зазначені обмеження стали передумовою для розвитку альтернативних логічних підходів, серед яких особливе місце посідає *нечітка логіка*. На відміну від класичної логіки, вона дозволяє описувати об'єкти та явища за допомогою проміжних значень між абсолютною істинністю та абсолютною хибністю, що забезпечує більш адекватне моделювання складних систем в умовах невизначеності. Саме тому в сучасних дослідженнях соціально-економічних процесів, систем економічної безпеки, ризик-менеджменту та інтелектуальних систем підтримки ухвалення рішень дедалі частіше використовуються інструменти нечіткої логіки, які розширюють можливості класичного

логічного апарату та дозволяють враховувати особливості реального світу.

У класичній логіці кожне висловлювання має лише два можливі значення: істина або хиба. Для зручності істину позначають числом 1, а хибу – числом 0. Такий підхід дає змогу формалізувати правові міркування, тобто показати, за яких умов певний юридичний факт, правова підстава або правовий наслідок вважаються наявними чи відсутніми. У праві це особливо важливо під час аналізу складу правопорушення, умов відповідальності, процесуального статусу особи, підстав виникнення прав та обов'язків, а також під час тлумачення норм, побудованих за моделлю «якщо – то».

Заперечення позначається символом $\neg$ і читається як «не». Його зміст полягає в тому, що логічне значення вихідного висловлювання змінюється на протилежне. Якщо твердження А є істинним, то його заперечення $\neg A$ є хибним. Якщо ж твердження А є хибним, то заперечення $\neg A$ є істинним.

Таблиця 1.1

Заперечення

А	$\neg A$
0	1
1	0

У правовому контексті заперечення використовується для встановлення відсутності певної юридично значущої обставини. Наприклад, якщо А означає «особа досягла віку кримінальної відповідальності», то $\neg A$ означає «особа не досягла віку кримінальної відповідальності». Якщо встановлено, що особа досягла відповідного віку, то твердження $\neg A$ буде хибним. Якщо ж особа такого віку не досягла, заперечення буде істинним.

Це має важливе практичне значення, оскільки відсутність певної ознаки може повністю змінювати юридичну оцінку ситуації. Наприклад, навіть за наявності фактичного діяння особа може не підлягати кримінальній відповідальності, якщо відсутня необхідна умова, передбачена законом.

Кон'юнкція позначається символом $\wedge$ і відповідає логічному сполучнику «і». Складне висловлювання $A \wedge B$ є істинним лише тоді, коли одночасно істинними є обидва прості висловлювання: і А, і В. Якщо хоча б одна з умов не виконується, результат кон'юнкції є хибним.

Таблиця 1.2

Кон'юнкція

А	В	$A \wedge B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

У праві *кон'юнкція* застосовується тоді, коли для настання певного юридичного наслідку необхідна сукупність кількох умов. Наприклад, нехай А означає «особа вчинила протиправне діяння», а В – «наявна вина особи». Тоді $A \wedge B$ означає: «особа вчинила протиправне діяння і наявна її вина». Таке твердження буде істинним лише тоді, коли доведено і сам факт діяння, і вину особи.

Якщо діяння було, але вина не доведена, *кон'юнкція* буде хибною. Якщо вина припускається, але не встановлено факту протиправного діяння, результат також буде хибним. Саме тому *кон'юнкція* добре відображає юридичні конструкції, у яких правовий наслідок залежить не від однієї ознаки, а від їх повної сукупності.

Диз'юнкція позначається символом $\vee$ і відповідає логічному сполучнику «або». У класичній логіці звичайна *диз'юнкція* є істинною тоді, коли істинним є хоча б одне з двох висловлювань. Вона є хибною лише в одному випадку — коли обидва висловлювання є хибними.

Таблиця 1.3

Диз'юнкція

А	В	$A \vee B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

У праві *диз'юнкція* використовується для опису альтернативних підстав виникнення правового наслідку. Наприклад, нехай А означає «договір порушено шляхом прострочення виконання зобов'язання», а В – «договір порушено шляхом неналежної якості виконання». Тоді $A \vee B$ означає: «договір порушено через прострочення або через неналежну якість виконання».

Таке висловлювання буде істинним, якщо наявне хоча б одне з порушень. Якщо одночасно наявні і прострочення, і неналежна якість виконання, звичайна диз'юнкція також залишається істинною. Отже, у класичній логіці «або» не завжди означає вибір лише одного варіанта; воно може допускати одночасну наявність кількох альтернативних підстав.

Сувора диз'юнкція позначається символом $\oplus$ і означає «або одне, або інше, але не обидва одночасно». Вона є істинною лише тоді, коли істинним є тільки одне з двох висловлювань. Якщо обидва висловлювання хибні або обидва істинні, результат суворої диз'юнкції є хибним.

Таблиця 1.4

Сувора диз'юнкція

А	В	$A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

У праві така операція корисна для аналізу взаємовиключних статусів, процедурних рішень або режимів. Наприклад, нехай А означає «особа має статус підозрюваного», а В – «особа має статус свідка щодо тієї самої юридично значущої обставини». Якщо ці статуси розглядаються як несумісні в межах конкретної процесуальної ситуації, то $A \oplus B$ буде істинним лише тоді, коли особа має один із цих статусів.

Якщо особа не має жодного із зазначених статусів, сувора диз'юнкція є хибною. Якщо ж ту саму особу одночасно розглядають і як підозрюваного, і як свідка щодо тієї самої обставини, виникає логічна суперечність, а результат суворої диз'юнкції також буде хибним. Це дає змогу виявляти несумісні правові положення або помилки у класифікації правового статусу.

Імплікація позначається символом $\rightarrow$ і читається як «якщо А, то В». Перше висловлювання А є умовою або підставою, а друге висловлювання В – наслідком. Імплікація є хибною лише в одному випадку: коли умова А істинна, але наслідок В хибний.

Таблиця 1.5

Імплікація		
A	B	A → B
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1

У праві *імплікація* є однією з найважливіших логічних форм, оскільки багато норм мають умовно-наслідкову структуру. Наприклад, нехай *A* означає «особа вчинила адміністративне правопорушення», а *B* – «до особи може бути застосовано адміністративне стягнення». Тоді $A \rightarrow B$ означає: «якщо особа вчинила адміністративне правопорушення, то до неї може бути застосовано адміністративне стягнення».

Хибною така *імплікація* буде лише тоді, коли правопорушення встановлено, але передбачений правовий наслідок без належного пояснення не може настати. Якщо ж правопорушення не було, імплікація формально не порушується. Саме ця особливість іноді здається незвичною з погляду повсякденного мовлення, але у формальній логіці вона забезпечує суворість аналізу правових норм.

Еквіваленція позначається символом $\leftrightarrow$ і читається як «*A* тоді й лише тоді, коли *B*». Вона означає логічну рівнозначність двох висловлювань. Еквіваленція є істинною тоді, коли обидва висловлювання мають однакові значення: або обидва істинні, або обидва хибні.

Таблиця 1.6

Еквіваленція		
A	B	A ↔ B
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

У праві *еквіваленція* використовується для опису ситуацій, коли одна умова є необхідною і достатньою для іншої. Наприклад, нехай *A* означає «особа має право керувати транспортним засобом певної категорії», а *B* – «особа має чинне посвідчення водія відповідної категорії». Тоді $A \leftrightarrow B$ означає: «особа має право керувати транспортним засобом певної категорії тоді й лише тоді, коли має чинне посвідчення водія відповідної категорії».

Еквіваленція буде істинною, якщо обидва твердження одночасно істинні або одночасно хибні. Якщо особа має чинне посвідчення і відповідне право керування, логічна рівнозначність зберігається. Якщо посвідчення немає і права керування також немає, *еквіваленція* також істинна. Проте якщо одне твердження істинне, а інше хибне, еквіваленція порушується.

Отже, *таблиці істинності* дозволяють наочно показати, як базові операції класичної логіки можуть бути використані для аналізу правових ситуацій. Вони допомагають формалізувати юридичні умови, виявляти взаємозв'язок між фактами та наслідками, розмежовувати альтернативні й взаємовиключні правові варіанти, а також краще розуміти межі застосування формально-логічного підходу в правовому мисленні.

Окрім *таблиць істинності*, для наочного подання базових операцій класичної логіки доцільно використовувати *кола* або *діаграми Венна*. Вони дають змогу графічно показати, які саме області універсальної множини відповідають істинності або хибності певного висловлювання. Такий підхід є особливо зручним для пояснення заперечення, кон'юнкції, диз'юнкції та інших логічних операцій, оскільки дозволяє не лише формально подати результат, а й візуально побачити співвідношення між умовами, фактами та правовими наслідками.

На рис. 1.1 подано діаграму Венна для логічної операції *заперечення*. Коло *A* відображає множину об'єктів, для яких твердження є істинним, тоді як заштрихована область поза колом відповідає множині $\neg A$, тобто всім об'єктам універсальної множини *U*, які не належать до *A*.

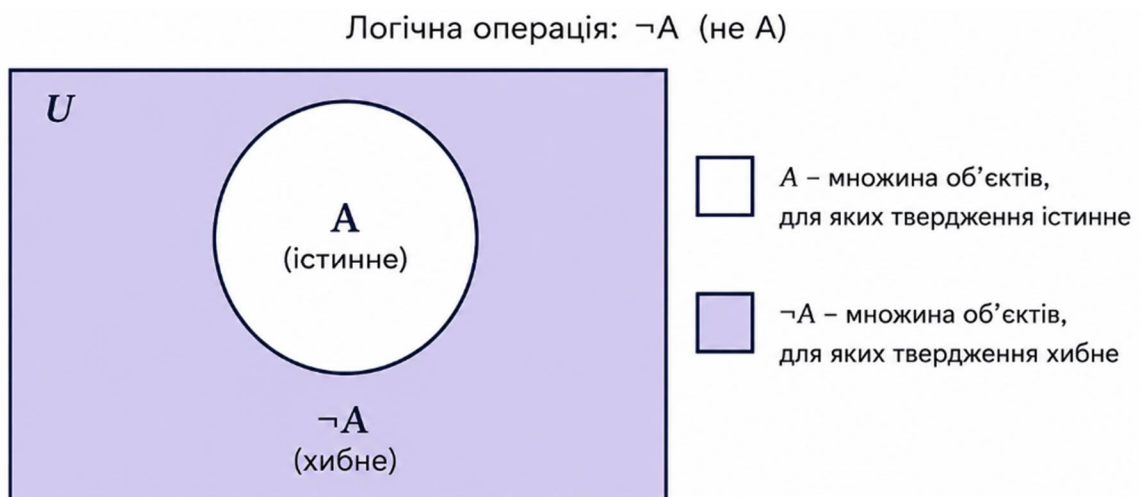


Рис. 1.1. Діаграма Венна для операції заперечення ($\neg A$)

Отже, операція заперечення показує перехід від істинності до хибності й навпаки. Якщо твердження A є істинним, то його заперечення $\neg A$ є хибним; якщо ж A є хибним, то $\neg A$ набуває значення істини.

На рис. 1.2 подано *діаграму Венна* для логічної операції *кон'юнкції*. Кола A та B відображають множини об'єктів, для яких відповідні твердження є істинними, тоді як заштрихована область їх перетину відповідає множині $A \wedge B$.

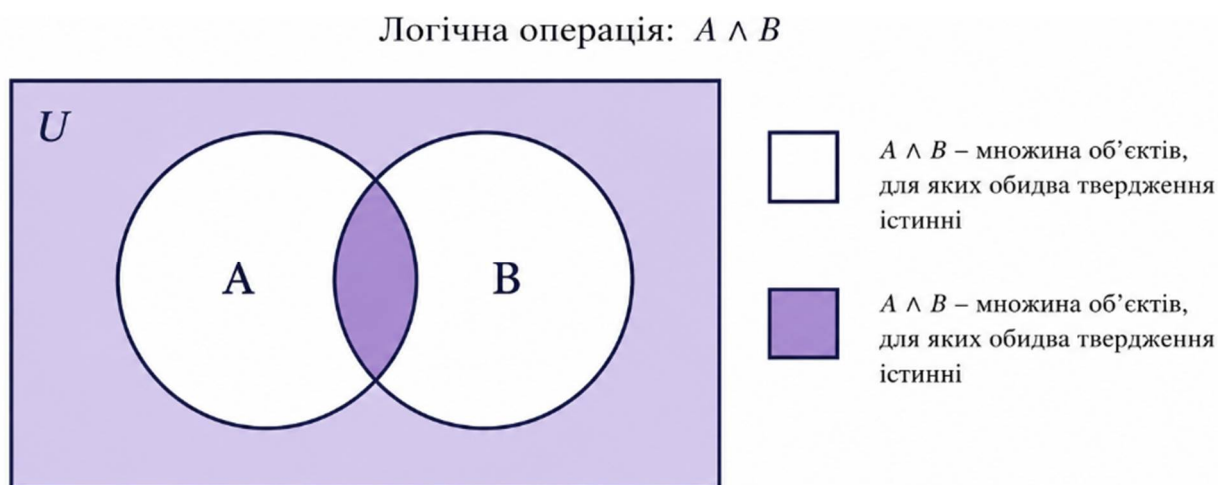
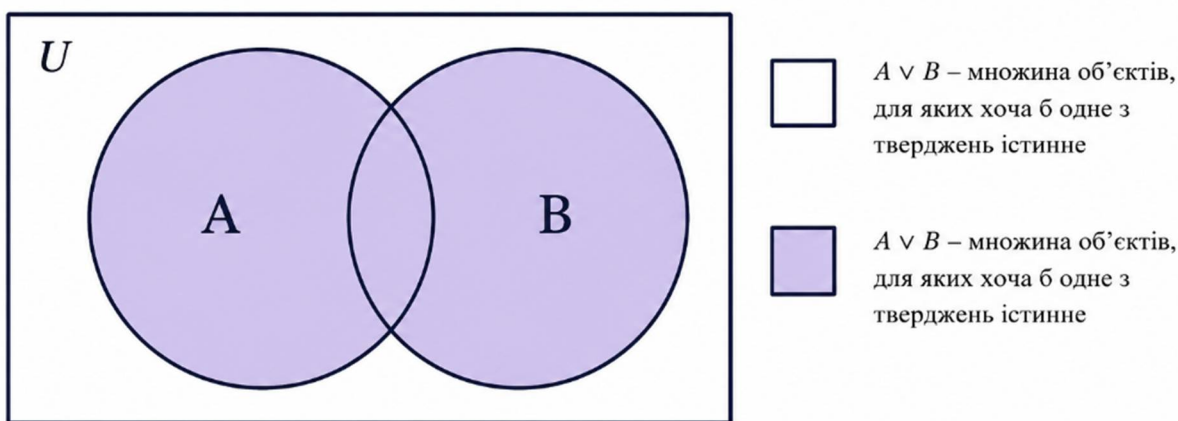


Рис. 1.2. Діаграма Венна для операції кон'юнкції ($A \wedge B$)

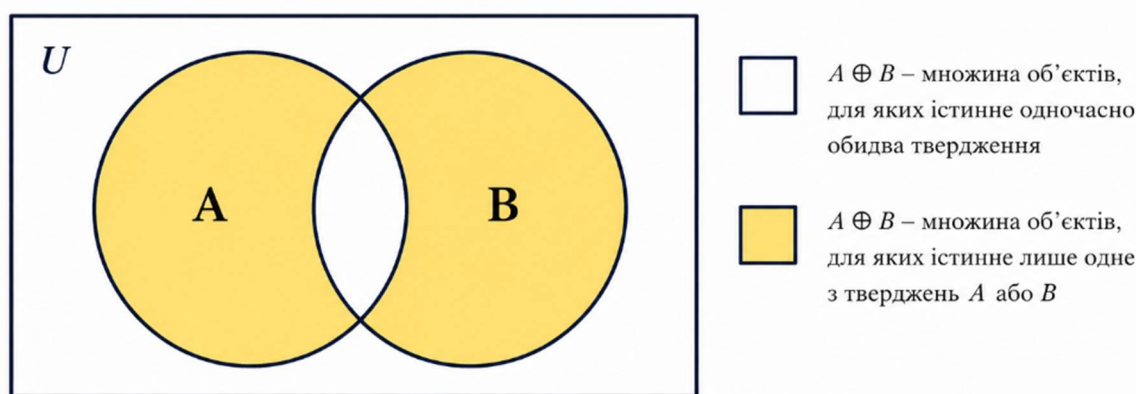
Отже, *кон'юнкція* набуває значення істини лише для тих об'єктів, які одночасно належать множинам A і B . Якщо хоча б одна з умов не виконується, результат операції $A \wedge B$ буде хибним, що відповідає правилам класичної логіки.

На рис. 1.3 подано *діаграму Венна* для логічної операції *диз'юнкції*. Кола A та B відображають множини об'єктів, для яких відповідні твердження є істинними, а заштрихована область охоплює об'єднання цих множин, тобто множину $A \vee B$.

Логічна операція: $A \vee B$ Рис. 1.3. Діаграма Венна для операції диз'юнкції ($A \vee B$)

Отже, операція диз'юнкції набуває значення істини для всіх об'єктів, які належать множині A , множині B або одночасно обом множинам. Відповідно до правил класичної логіки, висловлювання $A \vee B$ є хибним лише тоді, коли обидва твердження A і B є хибними.

На рис. 1.4 подано діаграму Венна для логічної операції суворої диз'юнкції. Кола A та B відображають множини об'єктів, для яких відповідні твердження є істинними, а заштрихованими показано лише ті частини множин, що не належать їх спільному перетину.

Логічна операція: $A \oplus B$ Рис. 1.4. Діаграма Венна для операції суворої диз'юнкції ($A \oplus B$)

Таким чином, операція суворої диз'юнкції $A \oplus B$ набуває значення істини лише тоді, коли істинним є одне з двох тверджень – A або B . Область перетину множин не входить до результату операції, оскільки для неї одночасно істинними є обидва твердження. Відповідно до правил класичної логіки, висловлювання $A \oplus B$ є істинним лише за умови

виконання однієї з двох логічних умов і хибним у випадках, коли обидві умови одночасно істинні або одночасно хибні.

На рис. 1.5 подано діаграму Венна для логічної операції імплікації. Коло A відображає множину об'єктів, для яких істинним є твердження A , а коло B – множину об'єктів, для яких істинним є твердження B . Заштрихована область відповідає множині об'єктів, для яких імплікація $A \rightarrow B$ набуває значення істини.

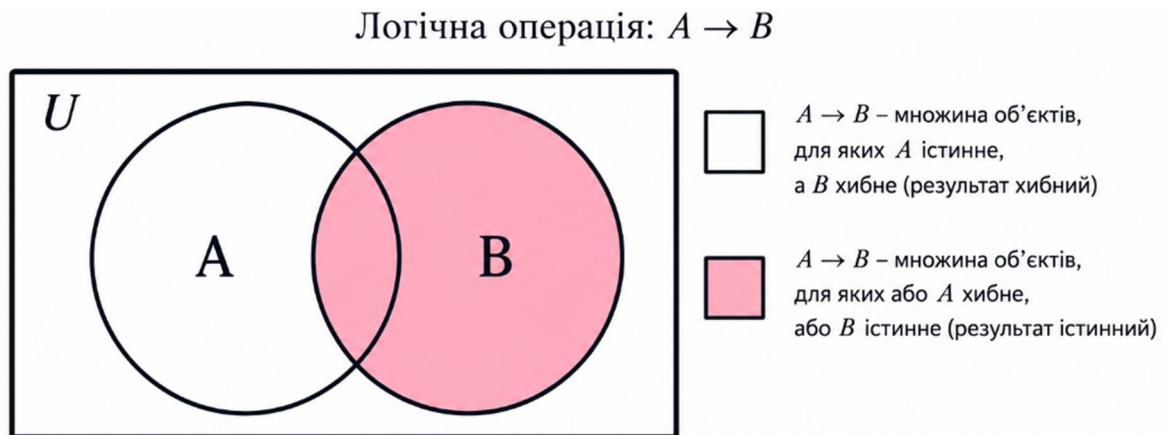


Рис. 1.5. Діаграма Венна для операції імплікації ($A \rightarrow B$)

Отже, імплікація $A \rightarrow B$ є хибною лише в одному випадку – коли твердження A є істинним, а твердження B є хибним. В усіх інших випадках, зокрема коли B є істинним або A є хибним, результат імплікації вважається істинним, що відповідає правилам класичної логіки.

На рис. 1.6 подано діаграму Венна для логічної операції еквіваленції. Кола A та B відображають множини об'єктів, для яких відповідні твердження є істинними. Заштрихована область показує множину об'єктів, для яких обидва твердження мають однакові логічні значення.

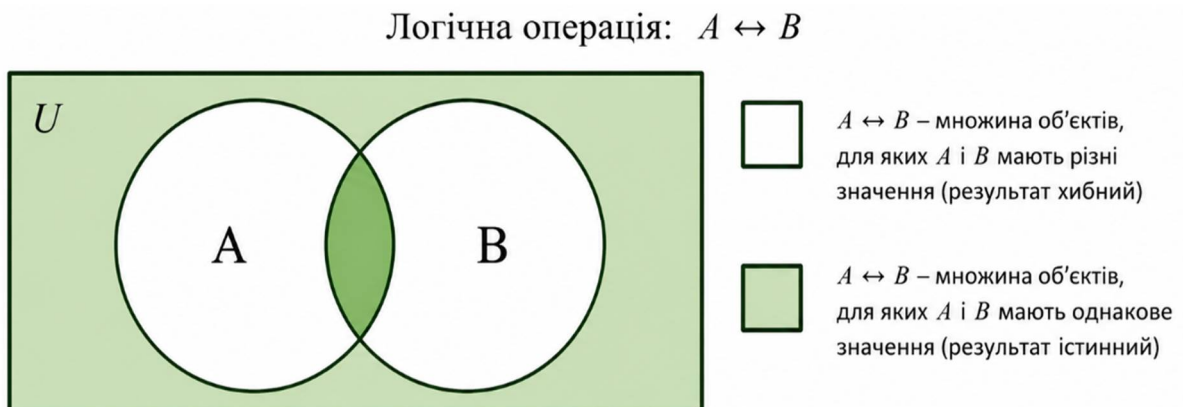


Рис. 1.6. Діаграма Венна для операції еквіваленції ($A \leftrightarrow B$)

Таким чином, операція еквівалентності $A \leftrightarrow B$ набуває значення істини тоді, коли обидва твердження одночасно істинні або одночасно хибні. Якщо ж значення висловлювань A та B відрізняються, результат операції є хибним. Це відповідає принципу логічної рівнозначності, згідно з яким еквіваленція відображає повну відповідність між двома висловлюваннями.

Після розгляду основних операцій класичної логіки перейдемо до аналізу її обмежень, які особливо помітні під час дослідження складних правових, соціальних та управлінських ситуацій. *Таблиці істинності й діаграми Венна* дають змогу чітко показати, коли висловлювання є істинним або хибним, однак у реальній практиці не всі явища можна однозначно віднести лише до категорій «так» або «ні», «істина» або «хиба». Саме наявність проміжних, оціночних і нечітко визначених станів стала важливою передумовою виникнення нечіткої логіки.

Класична логіка ґрунтується на принципі двозначності, відповідно до якого кожне твердження є або істинним, або хибним. Такий підхід добре працює в умовах чітко визначених понять, формальних правил і точних меж. Наприклад, у математиці твердження може бути доведеним або недоведеним, у програмуванні умова може виконуватися або не виконуватися. Проте у праві, економіці, соціальному управлінні та повсякденному мисленні часто використовуються поняття, межі яких не є абсолютно визначеними.

У правовій сфері такими поняттями можуть бути «істотна шкода», «значні збитки», «розумний строк», «високий ступінь небезпеки», «достатні підстави», «суттєве порушення». Їх складно оцінити лише за принципом «наявне/відсутнє», оскільки в кожній конкретній ситуації вони можуть мати різний ступінь прояву. Наприклад, шкода може бути не просто «значною» або «незначною», а мати проміжні рівні: *низьку, помірну, істотну або критичну*.

Саме ця проблема показала межі класичної логіки. Вона не завжди дозволяє врахувати поступовість, невизначеність і часткову відповідність об'єкта певній ознаці. Якщо класична логіка змушує вибирати лише між двома значеннями – **0** і **1**, то нечітка логіка вводить проміжні значення між ними. Завдяки цьому можна говорити не лише про істинність або хибність твердження, а про ступінь його істинності.

Виникнення *нечіткої логіки* було зумовлене потребою формалізувати такі ситуації, в яких людське мислення оперує не абсолютними, а наближеними оцінками. Людина часто ухвалює рішення на основі слів «майже», «приблизно», «достатньо», «частково», «високий», «низький», «помірний». Класична логіка не має зручного

апарату для роботи з такими мовними конструкціями, тоді як *нечітка логіка* дозволяє перетворювати їх на формалізовані моделі.

Отже, основною передумовою виникнення *нечіткої логіки* стала необхідність опису складних явищ, які не мають чітких меж і не можуть бути повністю пояснені через жорстке протиставлення істини та хибі. *Нечітка логіка* розширює класичний підхід, оскільки дозволяє враховувати проміжні стани, ступені належності та часткову істинність тверджень. Саме тому вона є особливо корисною для аналізу правових норм з оціночними поняттями, соціально-економічних процесів, ризиків, управлінських рішень та інших ситуацій, де необхідно враховувати невизначеність і багатоваріантність реальності.

Розглянемо основні логічні *правила нечіткої логіки*, які відрізняються від правил класичної логіки тим, що працюють не лише зі значеннями **0** і **1**, а з усім інтервалом значень від **0** до **1**. Саме це дозволяє перейти від жорсткої двозначної оцінки до більш гнучкої моделі аналізу складних правових і соціальних явищ.

На рис. 1.7 подано графічну інтерпретацію операції заперечення в нечіткій логіці. Ліва частина рисунка відображає функцію належності нечіткої множини A , а права – функцію належності множини $\neg A$, яка є її логічним доповненням. Відповідно до основного правила нечіткого заперечення, ступінь належності елемента до множини $\neg A$ визначається як різниця між одиницею та ступенем його належності до множини A . Тобто, чим вищим є значення $\mu_A(x)$, тим нижчим буде значення $\mu_{\neg A}(x)$, і навпаки.

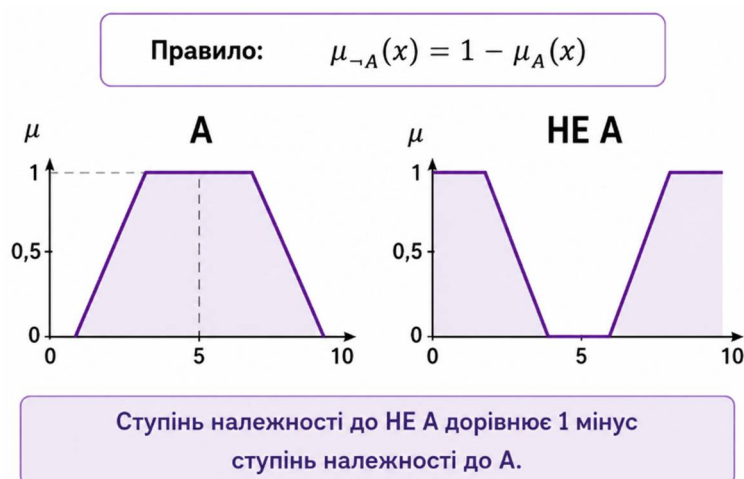


Рис. 1.7. Графічне зображення операції заперечення в нечіткій логіці

Отже, операція заперечення у нечіткій логіці не просто змінює значення висловлювання з істинного на хибне, як це відбувається у класичній логіці, а забезпечує плавний перехід між ступенями істинності. Якщо елемент повністю належить множині A ($\mu_A(x)=1$), то його належність до множини $\neg A$ дорівнює нулю. Якщо елемент зовсім не належить множині A ($\mu_A(x)=0$), то його належність до множини $\neg A$ є максимальною і дорівнює одиниці. У проміжних випадках, наприклад за $\mu_A(x)=0,4$, ступінь належності до $\neg A$ становитиме $0,6$, що дозволяє відобразити часткову істинність твердження.

Отже, подана на рис. 1.7 операція заперечення демонструє ключову відмінність нечіткої логіки від класичної: замість жорсткого поділу на «істинне» і «хибне» використовується неперервна шкала значень від 0 до 1 . Це особливо важливо для аналізу понять із нечіткими межами, наприклад «значний ризик», «суттєва шкода», «достатній рівень доказовості», «високий ступінь небезпеки». Завдяки цьому нечітке заперечення дає змогу точніше моделювати ситуації, в яких ознака не просто наявна або відсутня, а проявляється певною мірою.

На рис. 1.8 подано графічну інтерпретацію операції кон'юнкції в нечіткій логіці. Ліва та центральна частини рисунка відображають функції належності нечітких множин A і B , тоді як права частина демонструє результат виконання операції $A \wedge B$. Відповідно до правила нечіткої кон'юнкції, ступінь належності елемента до результуючої множини визначається як мінімальне значення між ступенями належності цього елемента до множин A та B . Формально це описується співвідношенням: $\mu_{A \wedge B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$.

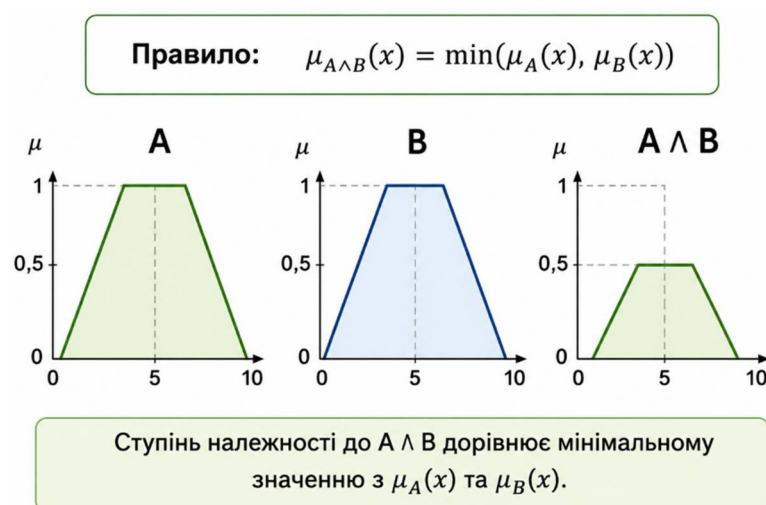


Рис. 1.8. Графічне зображення операції кон'юнкції в нечіткій логіці

Отже, результат *нечіткої кон'юнкції* завжди обмежується найменшим із двох значень функцій належності. Якщо для певного значення змінної елемент належить множині A зі ступенем $0,8$, а множині B зі ступенем $0,5$, то його належність до множини $A \wedge B$ становитиме $0,5$. На відміну від класичної логіки, де операція «І» може набувати лише значень 0 або 1 , нечітка кон'юнкція дозволяє враховувати часткову належність об'єкта до кількох множин одночасно.

Отже, операція *нечіткої кон'юнкції* реалізує принцип обережної оцінки, згідно з яким результат визначається найменшим рівнем виконання однієї з умов. Такий підхід широко застосовується в системах підтримки ухвалення рішень, експертних системах, оцінюванні ризиків та моделюванні складних соціально-економічних процесів. Наприклад, якщо рівень економічної безпеки підприємства залежить одночасно від фінансової стійкості та інноваційного потенціалу, то загальна оцінка за правилом *нечіткої кон'юнкції* буде визначатися слабшою з цих характеристик, що дозволяє більш реалістично відображати вплив критичних факторів на кінцевий результат.

На рис. 1.9 подано графічну інтерпретацію операції *диз'юнкції* в нечіткій логіці. Ліва та центральна частини рисунка відображають функції належності нечітких множин A і B , тоді як права частина демонструє результат виконання операції $A \vee B$. Відповідно до правила *нечіткої диз'юнкції*, ступінь належності елемента до результуючої множини визначається як максимальне значення між ступенями належності цього елемента до множин A та B . Формально це описується співвідношенням: $\mu_{A \vee B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$.

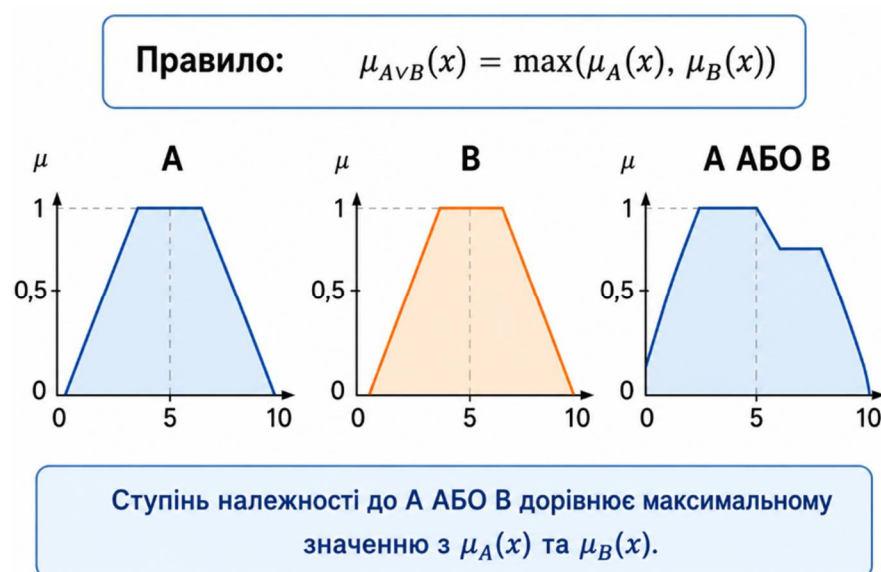


Рис. 1.9. Графічне зображення операції диз'юнкції в нечіткій логіці

Отже, результат *нечіткої диз'юнкції* для кожного значення змінної формується на основі найбільшого ступеня належності серед двох розглянутих множин. Наприклад, якщо для певного значення x ступінь належності до множини A становить 0,4, а до множини B – 0,8, то ступінь належності до множини $A \vee B$ дорівнюватиме 0,8. На відміну від класичної логіки, де операція «АБО» може набувати лише значень 0 або 1, *нечітка диз'юнкція* дозволяє враховувати різні рівні виконання хоча б однієї з умов.

Отже, операція *нечіткої диз'юнкції* реалізує принцип оптимістичної оцінки, відповідно до якого результат визначається найбільшою мірою виконання однієї з умов. Такий підхід широко використовується в експертних системах, задачах класифікації, оцінюванні ризиків та системах підтримки ухвалення рішень. Наприклад, якщо рівень конкурентоспроможності підприємства оцінюється за декількома альтернативними показниками, то високе значення хоча б одного з них може суттєво підвищити загальну оцінку за правилом нечіткої диз'юнкції. Це дозволяє більш гнучко враховувати переваги об'єкта навіть за наявності окремих слабких характеристик.

На рис. 1.10 подано графічну інтерпретацію операції імплікації в нечіткій логіці, реалізованої за правилом Мамдані. Ліва та центральна частини рисунка відображають функції належності нечітких множин A і B , тоді як права частина демонструє результуючу функцію належності для висловлювання $A \rightarrow B$. Відповідно до *правила Мамдані*, ступінь істинності імплікації визначається як максимальне значення між доповненням до ступеня належності множини A та ступенем належності множини B . Формально це описується виразом: $\mu_{A \rightarrow B}(x) = \max(1 - \mu_A(x), \mu_B(x))$.

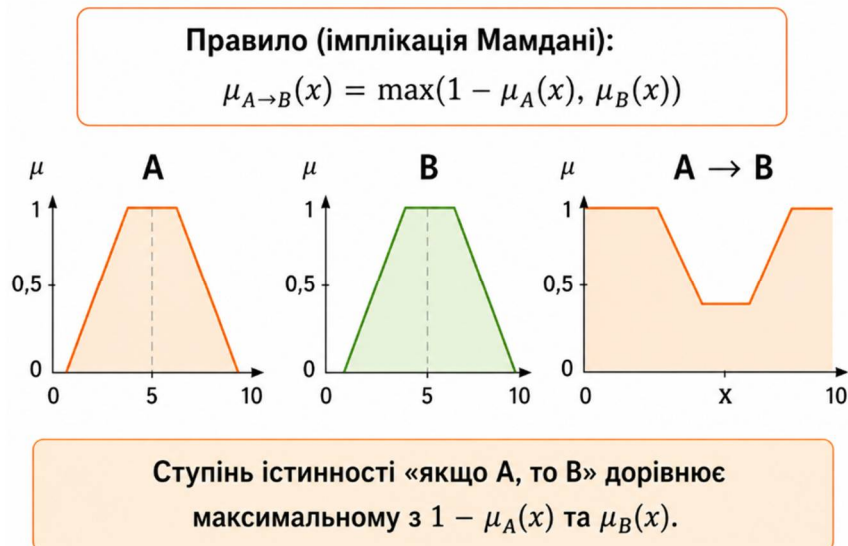


Рис. 1.10. Графічне зображення операції імплікації в нечіткій логіці за правилом Мамдані

Отже, *нечітка імплікація* відображає логічну конструкцію «якщо A, то B» з урахуванням проміжних ступенів істинності. Якщо належність елемента до множини *A* є високою, а до множини *B* – низькою, значення імплікації зменшується. Водночас у випадках, коли належність до множини *A* є низькою або належність до множини *B* є високою, значення імплікації наближається до одиниці.

Отже, операція *нечіткої імплікації* дозволяє формалізувати причинно-наслідкові зв'язки між нечіткими поняттями та є одним із ключових елементів систем нечіткого логічного виведення. Саме на основі таких імплікацій формуються бази знань експертних систем, де правила типу «якщо–то» використовуються для моделювання складних процесів у праві, економіці, управлінні ризиками та підтримці ухвалення рішень в умовах невизначеності.

На рис. 1.11 подано графічну інтерпретацію операції *еквівалентності* в нечіткій логіці. Ліва та центральна частини рисунка відображають функції належності нечітких множин *A* і *B*, тоді як права частина демонструє результуючу функцію належності для операції $A \leftrightarrow B$. Відповідно до правила нечіткої еквівалентності, ступінь належності елемента до результуючої множини визначається як одиниця мінус модуль різниці між ступенями належності до множин *A* та *B*. Формально це описується виразом: $\mu_{A \leftrightarrow B}(x) = 1 - |\mu_A(x) - \mu_B(x)|$.

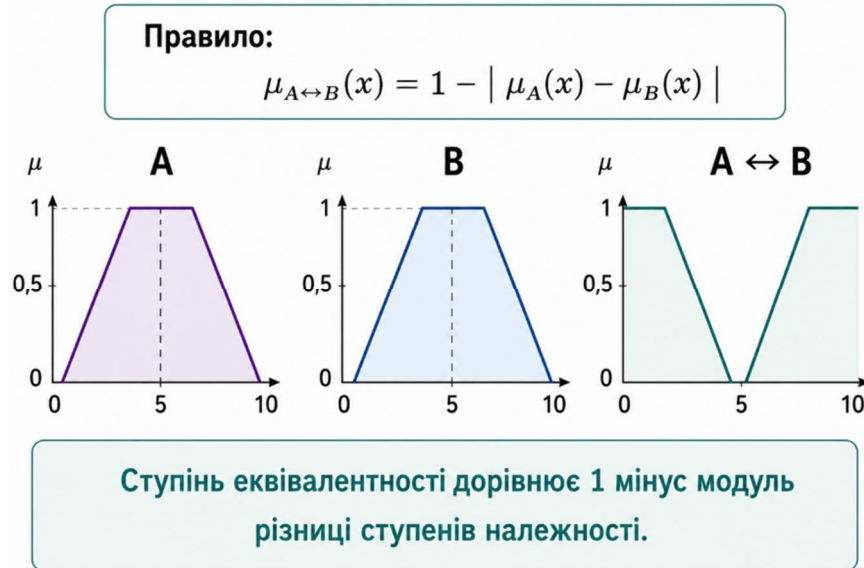


Рис. 1.11. Графічне зображення операції еквівалентності в нечіткій логіці

Отже, значення *нечіткої еквівалентності* є максимальним тоді, коли ступені належності до множин A і B збігаються або є дуже близькими між собою. Чим більшою стає різниця між значеннями $\mu_A(x)$ та $\mu_B(x)$, тим меншою буде ступінь істинності операції $A \leftrightarrow B$. Якщо ступені належності повністю збігаються, результат *еквівалентності* дорівнює одиниці, а за максимальної різниці між ними він наближається до нуля.

Отже, операція *нечіткої еквівалентності* використовується для оцінювання ступеня подібності або відповідності між нечіткими множинами та є важливим інструментом аналізу складних систем. Вона широко застосовується в експертних системах, задачах класифікації, розпізнавання образів, оцінюванні ризиків та підтримці ухвалення рішень. Завдяки можливості кількісно визначати рівень схожості між об'єктами *нечітка еквівалентність* забезпечує більш гнучке моделювання реальних процесів порівняно з класичною двозначною логікою.

На рис. 1.12 подано графічну інтерпретацію операції суворої диз'юнкції в нечіткій логіці. Ліва та центральна частини рисунка відображають функції належності нечітких множин A і B , тоді як права частина демонструє результуючу функцію належності для операції $A \oplus B$. Відповідно до правила нечіткої суворої диз'юнкції, ступінь належності елемента до результуючої множини визначається як модуль різниці між ступенями належності до множин A та B . Формально це описується співвідношенням: $\mu_{A \oplus B}(x) = |\mu_A(x) - \mu_B(x)|$.

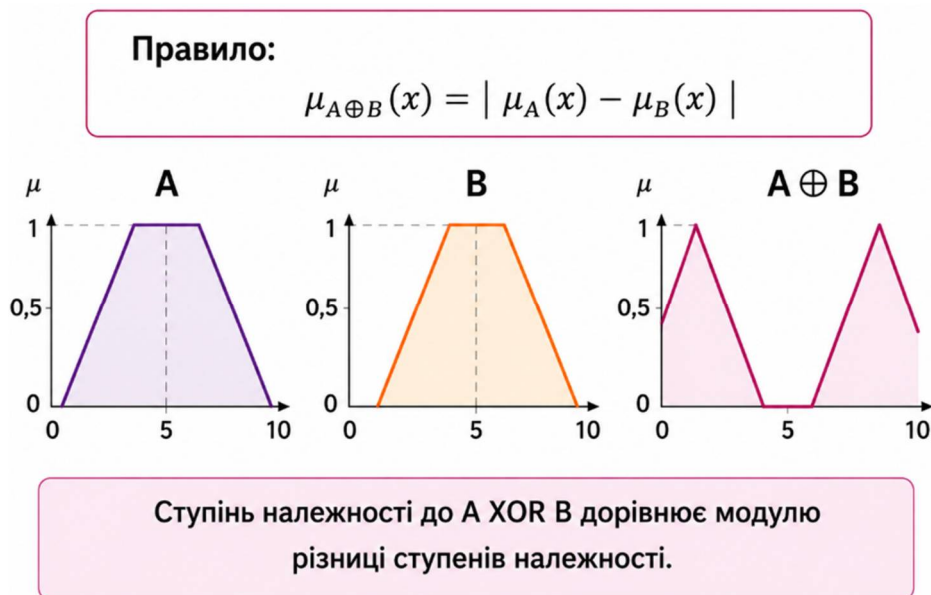


Рис. 1.12. Графічне зображення операції суворої диз'юнкції в нечіткій логіці (XOR)

Отже, значення операції $A \oplus B$ є максимальним тоді, коли один із ступенів належності наближається до одиниці, а інший – до нуля. Якщо ж ступені належності до множин A і B збігаються, результат суворої диз'юнкції дорівнює нулю. На відміну від звичайної нечіткої диз'юнкції, яка враховує найбільший ступінь належності, операція XOR акцентує увагу саме на відмінності між множинами.

Отже, *нечітка сувора диз'юнкція* використовується для виявлення несхожості або взаємної відмінності між нечіткими множинами та є корисним інструментом аналізу альтернативних станів і взаємовиключних умов. Її застосування дозволяє оцінювати ступінь розбіжності між характеристиками об'єктів, що є важливим під час класифікації, розпізнавання образів, аналізу ризиків і побудови систем підтримки ухвалення рішень в умовах невизначеності.

Однією з ключових категорій теорії нечіткої логіки є поняття *нечіткої множини*. Її поява стала наслідком необхідності опису об'єктів і явищ, які неможливо однозначно віднести до певної категорії за принципом «належить» або «не належить». У реальному світі більшість понять мають нечіткі межі та допускають різні ступені прояву певної властивості. Саме тому традиційний підхід класичної теорії множин, який передбачає лише два можливі стани – належність або неналежність елемента множині, виявився недостатнім для моделювання багатьох практичних ситуацій.

Основи *теорії нечітких множин* були закладені американським ученим азербайджанського походження *Лотфі Заде* у 1965 році. На відміну від класичної множини, де елемент або входить до множини, або не входить до неї, нечітка множина допускає часткову належність елементів. Це означає, що кожний елемент може належати множині з певним ступенем, який визначається числом із проміжку від 0 до 1. Значення 0 означає повну відсутність належності, значення 1 – повну належність, а всі проміжні значення характеризують різні рівні відповідності елемента певній властивості.

Наприклад, якщо розглядати множину «високих людей», то для людини зростом 150 см ступінь належності до цієї множини може становити 0,1, для людини зростом 180 см – 0,7, а для людини зростом 195 см – 1. Отже, нечітка множина дозволяє відобразити поступовий перехід між поняттями «невисокий», «середній» та «високий», який неможливо коректно описати засобами класичної логіки.

Математично *нечітка множина* визначається через функцію належності. Саме функція належності є центральним елементом усієї теорії нечітких множин, оскільки вона встановлює ступінь відповідності кожного елемента певній нечіткій множині. Якщо класична множина характеризується бінарною функцією, що приймає лише значення 0 або 1, то функція належності нечіткої множини може набувати будь-яких значень в межах від 0 до 1.

Функція належності позначається символом $\mu(x)$ і визначає ступінь належності елемента x до нечіткої множини A . Формально це записується як:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0;1], \quad (1.8)$$

де X – універсальна множина, а $[0; 1]$ – інтервал можливих значень ступеня належності.

Залежно від характеру досліджуваного об'єкта можуть використовуватися різні види функцій належності. Найбільш поширеними є трикутні, трапецієподібні, гаусові та дзвоноподібні функції. Трикутні функції характеризуються простотою побудови та широко застосовуються в експертних системах. Трапецієподібні функції дозволяють виділити інтервал значень із максимальним ступенем належності. Гаусові та дзвоноподібні функції забезпечують плавні переходи між нечіткими множинами та часто використовуються під час моделювання складних соціально-економічних процесів.

На рис. 1.13 наведено найбільш поширені функції належності, які застосовуються для формалізації нечітких множин: трикутну,

трапецієподібну, гаусову та дзвонувату. Кожна з них описує залежність ступеня належності елемента до нечіткої множини від значення досліджуваної змінної та може використовуватися для моделювання різних типів невизначеності. На рис.1.13 також наведено математичні вирази, що визначають форму відповідних *функцій належності*.

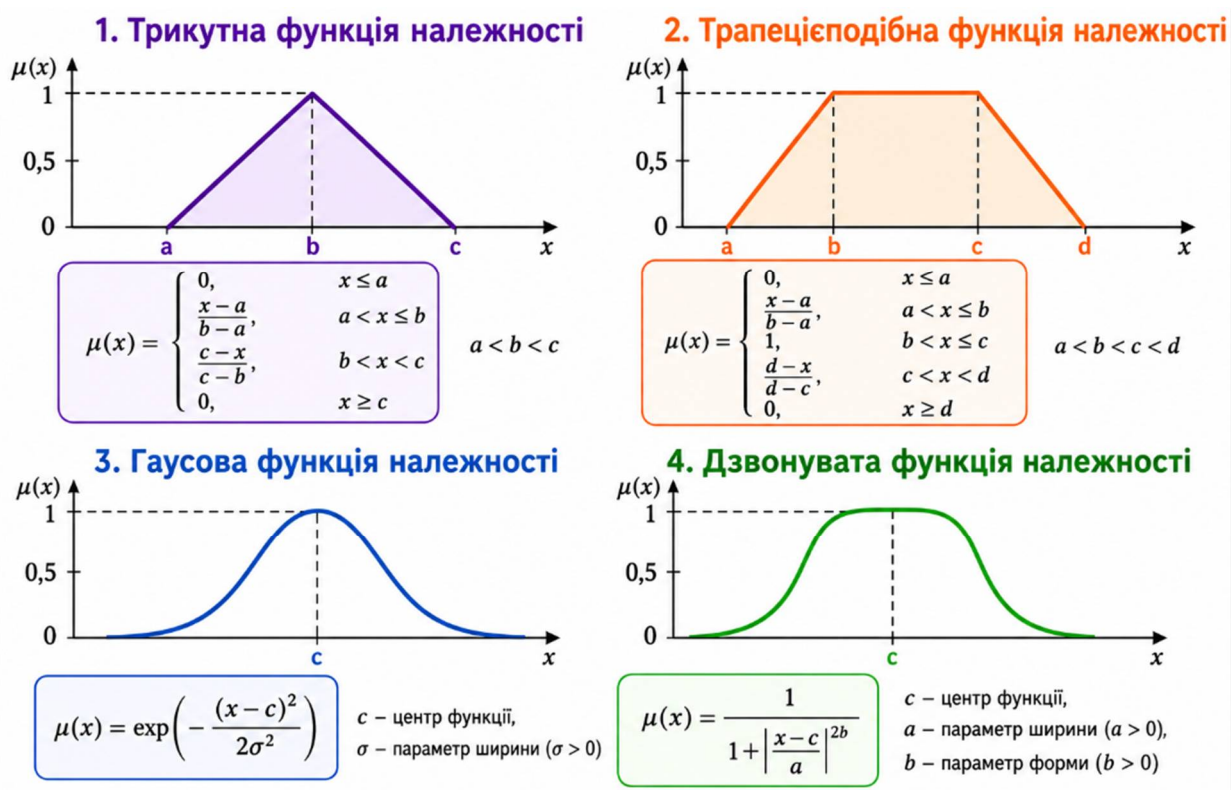


Рис. 1.13. Основні типи функцій належності, що використовуються в нечіткій логіці

Трикутна та трапецієподібна функції характеризуються простотою побудови й найчастіше використовуються в експертних системах та прикладних задачах нечіткого моделювання. *Гаусова функція* забезпечує плавну зміну ступеня належності та добре відображає природний розподіл багатьох параметрів. *Дзвонувата функція* є більш гнучкою, оскільки дозволяє окремо регулювати ширину та форму кривої за допомогою спеціальних параметрів. Вибір конкретного типу *функції належності* залежить від особливостей предметної області, характеру досліджуваних даних та вимог до точності нечіткої моделі.

Особливе значення *функції належності* мають у системах підтримки ухвалення рішень. Наприклад, під час оцінювання рівня ризику підприємства можна сформулювати нечіткі множини «низький ризик», «середній ризик» і «високий ризик». У такому випадку

конкретний показник ризику може одночасно належати кільком множинам із різними ступенями належності, що забезпечує більш реалістичне відображення економічної ситуації.

Важливим елементом *нечіткої логіки* є також поняття *лінгвістичної змінної*. На відміну від традиційних математичних змінних, які приймають числові значення, *лінгвістична змінна* характеризується словами або словосполученнями природної мови. Саме через *лінгвістичні змінні* здійснюється формалізація знань експертів та людських суджень.

Поняття *лінгвістичної змінної* також було запропоноване *Лотфі Заде* як інструмент для представлення якісних характеристик у формалізованому вигляді. Лінгвістична змінна складається з назви змінної, множини термів, універсальної множини та набору функцій належності, що описують відповідні терми.

Наприклад, лінгвістична змінна «*рівень ризику*» може включати такі терми: «*низький*», «*помірний*», «*високий*» та «*критичний*». Кожному терму відповідає власна функція належності, яка визначає ступінь відповідності конкретного значення показника певній категорії. Аналогічно для правової сфери можуть використовуватися лінгвістичні змінні «*ступінь суспільної небезпеки*», «*рівень доказовості*», «*тяжкість правопорушення*» або «*ймовірність виникнення ризику*».

Застосування *лінгвістичних змінних* дозволяє формалізувати оціночні поняття, які широко використовуються в законодавстві, економіці, менеджменті та соціальному управлінні. Наприклад, такі категорії, як «*значна шкода*», «*високий ризик*», «*достатній рівень безпеки*» або «*суттєве порушення*», складно описати за допомогою класичних математичних моделей. Нечітка логіка надає можливість представити їх у вигляді набору нечітких множин та функцій належності, що значно підвищує точність аналізу та обґрунтованість ухвалених рішень.

Отже, *нечіткі множини, функції належності та лінгвістичні змінні* утворюють теоретичну основу нечіткої логіки. Вони забезпечують можливість математичного опису невизначеності, нечіткості та оціночних понять, які неможливо адекватно формалізувати засобами класичної логіки. Саме завдяки цим інструментам *нечітка логіка* стала ефективним засобом моделювання складних систем, підтримки ухвалення рішень, оцінювання ризиків, аналізу правових норм та дослідження соціально-економічних процесів в умовах невизначеності.

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягає сутність класичної логіки та які її основні принципи?
2. Які фундаментальні закони становлять основу класичної логіки?
3. Які основні логічні операції використовуються в класичній логіці та яке їх призначення?
4. У чому полягають основні обмеження класичної логіки під час аналізу складних соціально-економічних і правових процесів?
5. Чому виникла потреба у створенні нечіткої логіки та які завдання вона дозволяє вирішувати?
6. У чому полягає відмінність між класичним і нечітким запереченням, кон'юнкцією та диз'юнкцією?
7. Яке призначення нечіткої імплікації та еквівалентності в системах нечіткого логічного виведення?
8. Що таке нечітка множина та чим вона відрізняється від класичної множини?
9. Яку роль у теорії нечітких множин відіграє функція належності та які її основні види?
10. Що таке лінгвістична змінна та як вона використовується для формалізації якісних характеристик у праві та економіці?
11. Які переваги надає використання нечітких множин, функцій належності та лінгвістичних змінних під час моделювання процесів в умовах невизначеності?
12. У яких сферах сучасної науки та практики найбільш активно застосовуються методи нечіткої логіки?

1.3. Невизначеність у праві, економіці, соціології та політиці

Однією з головних причин виникнення та подальшого розвитку *нечіткої логіки* стала необхідність формалізації невизначеності, яка є невід'ємною характеристикою більшості складних суспільних систем. На відміну від технічних об'єктів, де параметри часто можуть бути точно виміряні та описані математичними залежностями, правові, економічні, соціальні та політичні процеси характеризуються високим рівнем неоднозначності, неповнотою інформації та наявністю значної кількості суб'єктивних факторів. У таких умовах застосування традиційних методів класичної логіки та детермінованого аналізу часто не забезпечує достатньої точності для ухвалення обґрунтованих рішень.

Теорія нечітких множин і нечітка логіка створюють методологічне підґрунтя для роботи з різними формами невизначеності. Вони дозволяють описувати об'єкти та явища не лише через категорії «істинне» або «хибне», а й через ступені належності та рівні впевненості. Особливої актуальності такий підхід набуває під час дослідження правових норм, економічних процесів, соціальної поведінки та політичних рішень, де абсолютна визначеність практично недосяжна.

Для систематизації основних проявів невизначеності доцільно узагальнити їх у порівняльному вигляді. Такий підхід дозволяє зіставити правову, економічну, соціологічну та політичну невизначеність за ключовими ознаками, джерелами виникнення та прикладами практичного прояву. Узагальнену характеристику основних видів невизначеності подано в табл. 1.7.

Правова невизначеність є однією з найважливіших форм невизначеності у сучасному суспільстві. Вона виникає внаслідок того, що значна частина правових норм містить оціночні категорії, які не мають чітких кількісних меж. Законодавець свідомо використовує такі конструкції для забезпечення універсальності правового регулювання, однак це призводить до появи різних підходів до їх тлумачення та застосування. Наприклад, поняття «суттєва шкода», «значний розмір збитків», «високий ступінь суспільної небезпеки» або «розумний строк» можуть інтерпретуватися по-різному залежно від конкретних обставин справи. Саме тому правозастосовна практика нерідко демонструє різні рішення у схожих ситуаціях.

Таблиця 1.7

Порівняльна характеристика основних видів невизначеності

Вид невизначеності	Основні прояви	Джерела виникнення	Приклади
Правова	Неоднозначність норм, суперечливість тлумачень, варіативність судової практики	Оціночні поняття, прогалини законодавства, колізії правових норм	«Істотна шкода», «значний ризик», «розумний строк»
Економічна	Нестабільність ринків, інформаційна асиметрія, непередбачуваність поведінки суб'єктів	Коливання попиту і пропозиції, зовнішні шоки, конкуренція	Інфляція, валютні ризики, зміна інвестиційної активності
Соціологічна	Невизначеність соціальних оцінок і поведінкових реакцій	Суб'єктивність людських суджень, культурні особливості, вплив середовища	Рівень довіри, соціальна напруженість, громадська думка
Вид невизначеності	Основні прояви	Джерела виникнення	Приклади
Політична	Багатоваріантність рішень, конфлікти інтересів, нестійкість інститутів	Політична конкуренція, зміна еліт, зовнішній вплив	Вибірчі процеси, коаліційні переговори, політичні кризи

Нечітка логіка дозволяє подати подібні правові категорії у вигляді *лінгвістичних змінних та функцій належності*. Замість жорсткого розподілу на категорії «є значною шкодою» або «не є значною шкодою» виникає можливість оцінювати ступінь відповідності конкретної ситуації відповідному правовому поняттю. Це створює передумови для підвищення об'єктивності юридичного аналізу та формалізації процесів ухвалення рішень.

Економічна невизначеність пов'язана з особливостями функціонування ринкової економіки, де поведінка суб'єктів господарювання, споживачів, інвесторів та державних інституцій не може бути повністю передбачена. На економічні процеси впливають численні фактори, серед яких політична ситуація, технологічні зміни, міжнародна конкуренція, інфляційні процеси та глобальні кризові явища, через що економічні рішення завжди ухвалюються в умовах певного рівня невизначеності.

Особливо актуальною проблема *економічної невизначеності* стала в умовах цифрової трансформації економіки та глобалізації. Інформаційна асиметрія між учасниками ринку, висока швидкість змін та

значний обсяг даних ускладнюють процес прогнозування. У таких умовах нечітка логіка дозволяє здійснювати оцінювання ризиків, рівня економічної безпеки, інвестиційної привабливості та конкурентоспроможності на основі якісних і кількісних показників одночасно.

Соціологічна невизначеність виникає через складність людської поведінки та неможливість повністю передбачити реакцію окремих осіб або соціальних груп. На відміну від технічних систем, де поведінка елементів визначається фізичними законами, соціальні системи формуються під впливом психологічних, культурних, економічних та політичних факторів. Навіть за наявності великого масиву статистичних даних неможливо з абсолютною точністю спрогнозувати зміни суспільних настроїв або поведінкових моделей населення.

Типовими прикладами *соціологічної невизначеності* є оцінювання рівня довіри до державних інституцій, соціальної напруженості, задоволеності якістю життя або рівня соціальної згуртованості населення. У більшості випадків такі показники не мають чітких меж і характеризуються лінгвістичними оцінками типу «низький», «середній», «високий». Саме тому методологія нечіткої логіки є ефективним інструментом аналізу соціальних процесів.

Політична невизначеність формується внаслідок багатоваріантності політичних рішень, наявності конфліктів інтересів між різними групами впливу та нестійкості політичних інститутів. На відміну від багатьох економічних процесів, політичні рішення часто залежать від суб'єктивних оцінок, переговорних процесів та стратегічних інтересів учасників. Унаслідок цього прогнозування політичних подій характеризується високим рівнем складності.

Особливого значення *політична невизначеність* набуває в умовах кризових явищ, воєнних конфліктів та трансформаційних процесів. У таких ситуаціях виникає необхідність аналізу багатьох альтернативних сценаріїв розвитку подій. Нечітка логіка дозволяє враховувати експертні оцінки, якісні характеристики політичного середовища та неповну інформацію під час моделювання можливих наслідків ухвалення політичних рішень.

Отже, *правова, економічна, соціологічна та політична невизначеність* мають різну природу виникнення, однак усі вони характеризуються наявністю нечітких меж, неповнотою інформації та багатоваріантністю можливих станів системи. Саме ці особливості обумовлюють необхідність використання *методів нечіткої логіки як універсального інструменту формалізації складних процесів*. Завдяки

використанню нечітких множин, функцій належності та лінгвістичних змінних стає можливим кількісно описувати якісні характеристики об'єктів дослідження, що значно розширює можливості аналізу та підтримки ухвалення рішень у різних сферах суспільної діяльності.

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягає сутність невизначеності та чому вона є характерною рисою складних суспільних систем?
2. Які переваги надає нечітка логіка під час аналізу процесів в умовах невизначеності?
3. Які основні види невизначеності виокремлюють у сучасних дослідженнях?
4. У чому полягають особливості правової невизначеності та які фактори зумовлюють її виникнення?
5. Як нечітка логіка може використовуватися для аналізу оціночних правових категорій?
6. Які основні джерела економічної невизначеності та як вони впливають на ухвалення управлінських рішень?
7. Чому соціологічні процеси характеризуються високим рівнем невизначеності?
8. Які особливості політичної невизначеності та які чинники визначають її рівень?
9. Яку роль відіграють нечіткі множини, функції належності та лінгвістичні змінні у формалізації невизначеності?
10. Чому нечітку логіку можна розглядати як універсальний інструмент аналізу правових, економічних і соціальних процесів?

1.4. Нечітка логіка як інструментарій аналізу слабкоструктурованих процесів

Сучасні соціально-економічні, правові, політичні та управлінські системи характеризуються високим рівнем складності, багатофакторністю та значною кількістю взаємопов'язаних елементів. Значна частина процесів, що відбуваються в таких системах, належить до категорії слабкоструктурованих. На відміну від добре структурованих задач, для яких існують чітко визначені параметри, формалізовані залежності та достатній обсяг достовірної інформації, слабкоструктуровані процеси характеризуються неповнотою даних, наявністю суперечливих оцінок, значною роллю експертних суджень та складністю встановлення причинно-наслідкових зв'язків. Саме тому традиційні методи математичного аналізу не завжди забезпечують належний рівень точності та адекватності отриманих результатів.

Одним із найбільш ефективних інструментів дослідження таких процесів є нечітка логіка, яка дозволяє працювати з невизначеністю, нечіткістю та якісними характеристиками досліджуваних об'єктів. На відміну від класичної логіки, що базується на двозначному підході та передбачає лише два можливі стани – істину або хибу, нечітка логіка використовує концепцію ступенів істинності. Завдяки цьому вона забезпечує більш гнучке відображення реальних процесів і дозволяє формалізувати знання, які важко або неможливо описати традиційними математичними моделями.

Однією з головних причин доцільності використання нечітких підходів є наявність невизначеності, що супроводжує більшість управлінських, економічних і правових рішень. У практичній діяльності експерти часто використовують такі поняття, як «високий рівень ризику», «достатній рівень безпеки», «значна загроза», «помірна ймовірність» або «суттєвий вплив». Подібні характеристики мають якісну природу та не можуть бути однозначно представлені у вигляді точних числових значень. Використання нечіткої логіки дозволяє трансформувати такі лінгвістичні оцінки в математичну форму за допомогою функцій належності та нечітких множин.

На рис. 1.14 наведено шкалу ступенів істинності, яка демонструє принципову відмінність нечіткої логіки від класичної двозначної логіки. Якщо в класичній логіці висловлювання може бути лише істинним або хибним, тобто набувати значення **1** або **0**, то в нечіткій логіці допускається цілий спектр проміжних значень в межах інтервалу **[0; 1]**. Це дозволяє описувати не лише факт наявності або відсутності певної ознаки, а й ступінь її прояву.

Приклади ступенів істинності



Рис. 1.14. Приклад інтерпретації ступенів істинності в нечіткій логіці

Наведена шкала показує, що значення 0 відповідає стану «повністю хибно», значення 1 – стану «повністю істинно», а проміжні значення відображають часткову істинність твердження. Наприклад, значення 0,25 можна інтерпретувати як «скоріше хибно», значення 0,5 – як «невизначено» або «частково істинно», а значення 0,75 – як «скоріше істинно». Така градація дає змогу працювати з ситуаціями, у яких неможливо зробити однозначний висновок за принципом «так/ні».

У межах розділу 1.4, присвяченого нечіткій логіці як інструментарію аналізу слабкоструктурованих процесів, цей рисунок має важливе пояснювальне значення. Слабкоструктуровані процеси зазвичай характеризуються неповнотою інформації, суперечливістю оцінок, впливом суб'єктивних факторів та відсутністю чітких меж між станами системи. Саме тому використання проміжних ступенів істинності дозволяє точніше описувати такі явища, як рівень ризику, ступінь загрози, соціальна напруженість, правова невизначеність або ймовірність реалізації певного сценарію.

Отже, шкала ступенів істинності демонструє, що нечітка логіка не заперечує класичну логіку, а розширює її можливості. Вона забезпечує більш гнучкий підхід до аналізу складних явищ, у яких оцінка не може бути зведена лише до абсолютної істини або абсолютної хибності. Завдяки цьому нечітка логіка стає ефективним інструментом моделювання, оцінювання та підтримки ухвалення рішень в умовах невизначеності.

На рис. 1.15 наведено узагальнену послідовність функціонування системи нечіткого логічного виведення. Процес починається з надходження нечітких вхідних даних, які можуть бути подані у вигляді лінгвістичних змінних, експертних оцінок, індикаторів стану об'єкта або кількісних показників, перетворених у нечітку форму за допомогою функцій належності. На цьому етапі звичайні числові або якісні

характеристики набувають інтерпретації у вигляді ступенів належності до певних нечітких множин, наприклад «низький рівень ризику», «середня ймовірність», «висока загроза» або «достатній рівень стійкості».

Використання правил у системах нечіткої логіки

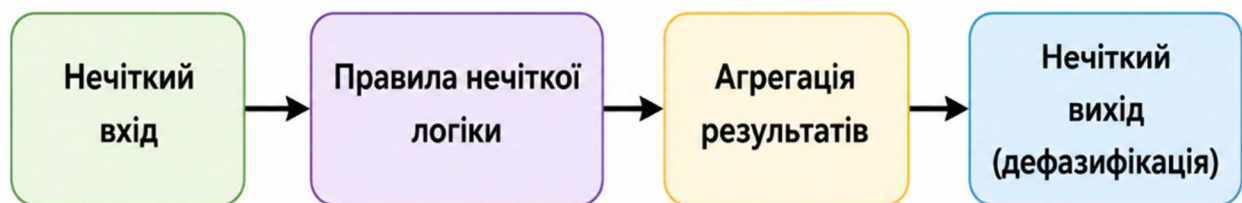


Рис. 1.15. Загальна схема використання правил у системах нечіткої логіки

Наступним етапом є застосування *правил нечіткої логіки*, які найчастіше формулюються у вигляді конструкцій типу «якщо–то». Такі правила дозволяють формалізувати експертні знання та встановити зв'язок між вхідними умовами і можливими результатами. Наприклад, якщо рівень ризику є високим, а стійкість системи низькою, то ймовірність негативного сценарію може оцінюватися як значна. Саме на цьому етапі нечітка логіка перетворюється на інструмент аналізу слабкоструктурованих процесів, оскільки дає змогу працювати з неповною, суперечливою або частково визначеною інформацією.

Після виконання правил здійснюється *агрегування результатів*, тобто об'єднання наслідків усіх активованих правил нечіткого виведення в єдину результуючу нечітку оцінку. Це особливо важливо тоді, коли одна й та сама ситуація описується не одним, а сукупністю правил, що відображають різні аспекти досліджуваного процесу. Завершальним етапом є *дефазифікація* – перетворення нечіткого результату в конкретне числове значення, рівень оцінки або управлінське рішення. Отже, наведена схема демонструє повний цикл роботи системи нечіткої логіки: від нечіткого входу до формування більш визначеного виходу, придатного для практичного використання в аналізі ризиків, правових ситуацій, соціально-економічних процесів та підтримці ухвалення рішень в умовах невизначеності.

Особливої актуальності нечіткі підходи набувають у процесах ухвалення управлінських рішень. Керівники підприємств, державні службовці, аналітики та експерти нерідко змушені працювати в умовах

обмеженої інформації, коли неможливо точно передбачити наслідки тих чи інших дій. У таких ситуаціях використання класичних моделей може призводити до спрощення реальної картини та втрати важливої інформації. Нечітка логіка, навпаки, дозволяє враховувати різні рівні впевненості, суб'єктивні оцінки та альтернативні сценарії розвитку подій.

Важливою перевагою нечіткої логіки є можливість формалізації якісних характеристик. Більшість соціально-економічних та правових явищ описуються саме якісними категоріями. Наприклад, під час оцінювання економічної безпеки підприємства можуть використовуватися такі характеристики, як «низька фінансова стійкість», «середній рівень конкурентоспроможності» або «висока інноваційна активність». У правовій сфері часто застосовуються поняття «істотна шкода», «значний ризик», «достатній рівень доказовості», «високий ступінь суспільної небезпеки». Усі ці категорії мають нечіткі межі та допускають різне трактування залежно від конкретної ситуації.

Традиційні математичні моделі вимагають чітких числових значень, тоді як нечітка логіка дозволяє використовувати лінгвістичні змінні та функції належності. Завдяки цьому якісні характеристики можуть бути представлені у формалізованому вигляді без втрати їх змістовного навантаження. Наприклад, поняття «високий рівень ризику» може бути описане нечіткою множиною, для якої кожному значенню показника ризику відповідає певний ступінь належності. Такий підхід значно підвищує гнучкість моделювання та дозволяє враховувати специфіку предметної області.

Ще однією важливою перевагою нечітко-логічного моделювання є його здатність інтегрувати експертні знання. У багатьох сферах діяльності накопичено значний обсяг практичного досвіду, який складно формалізувати у вигляді класичних математичних залежностей. Нечітка логіка дозволяє представити цей досвід у формі правил типу «якщо–то». Наприклад, правило може мати вигляд: «Якщо рівень фінансової стійкості низький і рівень зовнішніх загроз високий, то рівень економічної безпеки є низьким». Сукупність таких правил формує базу знань експертної системи та забезпечує можливість автоматизованого аналізу складних ситуацій.

Перевагами *нечітко-логічного моделювання* є також *універсальність*, *адаптивність* та *інтерпретованість* результатів. Нечіткі моделі можуть використовуватися в економіці, праві, соціології, політології, медицині, екології та багатьох інших сферах. Вони легко адаптуються до нових умов шляхом зміни функцій належності або бази

правил. Крім того, результати нечіткого моделювання мають зрозумілу інтерпретацію для експертів, оскільки безпосередньо пов'язані з лінгвістичними оцінками, які використовуються в реальній практиці.

Водночас *нечітко-логічне моделювання* має певні обмеження. Насамперед вони пов'язані із суб'єктивністю побудови функцій належності та формування бази правил. Різні експерти можуть по-різному визначати межі нечітких множин або інтерпретувати одні й ті самі поняття. У результаті моделі, побудовані різними дослідниками, можуть демонструвати певні відмінності в результатах. Крім того, ефективність нечіткої системи значною мірою залежить від якості експертних знань, які використовуються для її побудови.

Ще одним обмеженням є *складність вибору оптимальної структури моделі за великої кількості вхідних параметрів*. Зі збільшенням кількості лінгвістичних змінних швидко зростає кількість можливих правил, що ускладнює процес налаштування системи та підвищує вимоги до обчислювальних ресурсів. Саме тому на практиці нечітка логіка часто поєднується з іншими методами аналізу, зокрема *нейронними мережами, генетичними алгоритмами, методами машинного навчання та багатокритеріального оцінювання*.

У сучасній системі аналітичних методів нечітка логіка має особливе місце, оскільки поєднує переваги формалізованого математичного підходу та можливості врахування експертних знань. Вона є проміжною ланкою між класичними кількісними методами та якісним аналізом, забезпечуючи можливість комплексного дослідження складних об'єктів. На відміну від статистичних методів, які потребують великих масивів даних, нечітка логіка може ефективно працювати навіть за умов часткової інформації. На відміну від суто експертних підходів, вона забезпечує формалізацію процесу ухвалення рішень та підвищує об'єктивність отриманих результатів.

Особливо перспективним напрямом є *поєднання нечіткої логіки з технологіями штучного інтелекту*. Сучасні інтелектуальні системи дедалі частіше використовують гібридні підходи, які поєднують можливості нечіткого логічного виведення, нейронних мереж та машинного навчання. Це дозволяє не лише працювати з невизначеністю, але й адаптувати моделі до змін зовнішнього середовища, накопичувати нові знання та підвищувати точність прогнозування.

Отже, *нечітка логіка є потужним інструментарієм аналізу слабкоструктурованих процесів*, що дозволяє формалізувати якісні характеристики, враховувати невизначеність та використовувати експертні знання в процесі моделювання. Її переваги роблять можливим

ефективне дослідження складних соціально-економічних, правових та політичних систем, тоді як існуючі обмеження стимулюють подальший розвиток методів нечіткого моделювання та їх інтеграцію із сучасними аналітичними технологіями.

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. Що розуміють під визначеністю, ризиком і невизначеністю?
2. У чому полягає відмінність між ризиком і невизначеністю?
3. Які основні джерела виникнення невизначеності?
4. Що таке стохастична та лексична невизначеність?
5. У чому полягає принцип несумісності Л. Заде?
6. Що таке гранульоване подання інформації?
7. Які основні закони класичної логіки?
8. Які базові логічні операції використовуються в класичній логіці?
9. Що показують таблиці істинності?
10. Для чого використовують діаграми Венна?
11. Які межі має класична двозначна логіка?
12. Чому класична логіка не завжди придатна для аналізу складних процесів?
13. Які передумови виникнення нечіткої логіки?
14. Що таке нечітка множина?
15. Що таке функція належності?
16. Які основні види функцій належності використовуються в нечіткій логіці?
17. Що таке лінгвістична змінна?
18. Як у нечіткій логіці подаються поняття «низький», «середній», «високий»?
19. У чому відмінність між класичними та нечіткими логічними операціями?
20. Як виконується нечітке заперечення?
21. Як реалізуються нечіткі кон'юнкція та диз'юнкція?
22. Що характеризує ступінь істинності в нечіткій логіці?
23. Чому нечітка логіка придатна для аналізу слабкоструктурованих процесів?

Розділ 2

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В АНАЛІЗІ ПРАВОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

2.1. Особливості моделювання правової невизначеності

Сучасна наукова дискусія щодо формування правового мислення дедалі виразніше демонструє обмеженість традиційної логіко-дедуктивної теорії судових рішень, яка тривалий час розглядалася як базова модель юридичного міркування. У межах цієї теорії судові рішення постає як результат силогістичної операції, де більша посилка задається правовою нормою, а менша – встановленими фактами справи. Проте така схема виявляється надто спрощеною для реального правозастосування, оскільки не враховує багатозначності юридичної мови, контекстуальності тлумачення, неповноти фактів та оцінного характеру багатьох правових понять. Уже в ранніх працях з проблематики штучного інтелекту і права підкреслювалося, що правове мислення не зводиться до механічного виведення висновку з готових посилок, а включає аналогію, навчання на прикладах, роботу з невизначеними та суперечливими даними [6].

Однією з фундаментальних праць у цій сфері є дослідження J. Legrand, у якому окреслено загальні орієнтири застосування нечітких множин у правовому міркуванні [3]. Автор показує, що нечітка логіка є доцільною саме там, де юридичне мислення стикається з невизначеністю, градуальністю та лінгвістичною розмитістю. Важливо, що в цій праці нечіткі множини не подаються як універсальний засіб розв'язання всіх проблем права, а як інструмент, що дозволяє точніше моделювати окремі види юридичної невизначеності. Саме такий підхід є особливо цінним для формування правового мислення студентів, оскільки навчає їх не спрощувати юридичну реальність до бінарних опозицій, а бачити ступені, межі та переходи між правовими станами.

Суттєвий внесок у переосмислення класичного бачення права здійснив О. Perez, який у праці про «fuzzy law» розвинув ідею квазіправових систем [4]. Автор критикує традиційну бінарну модель права, в якій явища розглядаються як або повністю правові, або неправові, і доводить, що сучасне нормативне середовище значною мірою складається з проміжних, «напівправових» регуляторів. Для

формування правового мислення студентів це має важливе методологічне значення, оскільки дозволяє розглядати право як динамічну багаторівневу систему, де нечіткість є не дефектом, а реальною характеристикою правового середовища.

Подальший розвиток цієї лінії спостерігається в роботі Célia da Costa Pereira, Andrea Tettamanzi, Beishui Liao, Alessandra Malerba, Antonino Rotolo та Leendert van der Torre, де поєднуються нечітка логіка й формальна аргументація для юридичної інтерпретації [5]. Автори виходять з того, що тлумачення норми часто є не просто неоднозначним, а конфліктним, і саме тому потребує моделі, яка враховує відкриту текстуру правових понять та градуйовані категорії. Це особливо близьке до освітнього контексту, адже для майбутніх юристів критично важливо не лише запам'ятовувати норми, а й навчатися аргументовано працювати з різними ступенями правової визначеності.

Проблема раціонального застосування принципу пропорційності в кримінальному праві через призму нечіткої логіки розглядається у працях С. Mylonopoulos [6]. Автор переконливо демонструє, що оцінка пропорційності не може бути зведена до жорсткої формальної процедури, оскільки включає порівняння цінностей, інтенсивності втручання, ваги суспільного інтересу та інших параметрів, які за своєю природою мають оціночний і градуальний характер [6]. Це безпосередньо підсилює тезу про те, що традиційний судовий силогізм не пояснює належним чином ані формування юридичної посилки, ані сам процес зважування правових аргументів.

У класичній статті М. Xu, К. Hirota та Н. Yoshino запропоновано нечіткий теоретичний підхід до представлення кейсів та виведення у системах case-based reasoning на матеріалі CISG [7]. Автори наголошують, що інтерпретація норми на основі прецедентів не може бути адекватно описана в межах «crisp representation», оскільки між фактами справи і правовою нормою існує ступенева відповідність. З освітнього погляду це надзвичайно важливо, бо наголошує, що правове мислення студента повинно формуватися як мислення порівняльне, інтерпретаційне та градуальне, а не лише репродуктивно-дедуктивне.

Програмною для всієї тематики є праця L. Philipps і G. Sartor, де автори прямо ставлять під сумнів ототожнення комп'ютерних підходів до права з механічним формалізмом [8]. Вони наголошують, що дослідження нейронних мереж і нечіткого міркування показують здатність AI & Law виходити за межі силогістичної моделі. Це особливо важливо для теми формування правового мислення в цифровому середовищі, оскільки цифровізація юридичної освіти не повинна вести до

спрощення права, навпаки – вона може стати інструментом глибшого осмислення складності юридичної аргументації.

Однією з найбільш концептуально значущих праць є дослідження Т. Mazzaresе, присвячене нечіткій логіці та судовому ухваленню рішень [9]. Саме ця робота найбільш безпосередньо корелює з вашим акцентом на критиці традиційного судового силогізму. Авторка доводить, що класична теорія, яка розглядає рішення суду як логічний висновок із правової та фактичної посилок, не може дати належного пояснення ані проблемам встановлення права, ані проблемам встановлення факту, ані специфіці юридичної чинності. Вона пов'язує ці труднощі з багатовимірною нечіткістю юридичної мови та судового міркування, а отже, відкриває шлях до розуміння юридичного мислення як різновиду наближеного, а не строго бінарного міркування.

Праця F. González Santoyo, B. Flores Romero, A. M. Gil Lafuente та J. Flores переносить ідеї нечіткої логіки в площину застосування права та проектування публічної політики [10]. Автори показують, що юридичні рішення часто ухвалюються в середовищі невизначеності, де двозначна логіка виявляється недостатньою, тоді як багатозначна логіка та якісне міркування краще відповідають реальній природі правозастосування [10]. Це підсилює освітній аспект теми, оскільки правове мислення студентів повинно готувати їх до роботи саме в умовах невизначеного, змінного та контекстуального правового поля [10].

У дослідженні А. Vasil'ev та А. І. Fomenko розкриваються можливості використання нечіткої логіки у кримінальному судочинстві [11]. Автори виходять з того, що кримінальна юстиція є сферою, де рішення ухвалюються на основі неповної, суперечливої та часто нечітко сформульованої інформації. Це робить нечіткі моделі особливо релевантними для навчання студентів-правників аналізу доказів, імовірнісної оцінки фактів та побудови юридичної позиції в умовах дефіциту однозначності [11].

Piotr Sobol-Kołodziejczyk та Marek Zieliński демонструють прикладне використання логік нечітких множин у праві на прикладі проблеми «майна, що походить опосередковано від забороненого діяння» [12]. Практична цінність цієї роботи полягає в тому, що вона показує: нечіткість у праві не є суто теоретичною проблемою, а безпосередньо впливає на кваліфікацію правових явищ і на судову практику. Для юридичної освіти це означає потребу навчати студентів роботі з нечіткими межами понять, а не лише з їх формально-словниковими визначеннями.

У статті М. N. Abbasova та R. A. Imamguluyev запропоновано нечітку модель юридичної інтерпретації на основі *MATLAB Fuzzy Toolbox* [13]. Автори вводять в аналіз такі змінні, як рівень неоднозначності правової мови, узгодженість попередніх рішень і складність правових принципів, а вихідною змінною визначають інтерпретованість судового рішення. Ця робота має особливу цінність для вашої теми, оскільки прямо пов'язує нечітку логіку з цифровим середовищем, алгоритмізацією юридичного аналізу та побудовою моделей, які можуть бути використані і в освітньому процесі.

F. Sabahi та M.-R. Akbarzadeh-T. розширюють можливості нечіткого підходу, вводячи категорію валідності в нечітку ймовірність судового рішення [12]. У цій моделі правовий висновок уже не є просто істинним або хибним, а характеризується через взаємодію ймовірності, можливості та валідності [14]. Такий підхід є вкрай важливим для формування правового мислення, оскільки він навчає сприймати юридичний висновок як обґрунтований лише до певного ступеня, а не як абсолютну логічну даність.

Окремий напрям утворюють праці, присвячені безпосередньо юридичній освіті. Z. G. Balkır, Ü. Alniaçık та E. Araydın наголошують, що використання методів і принципів нечіткої логіки в юридичній освіті дозволяє досягати більш якісних і справедливих правових інтерпретацій, оскільки студенти вчаться синхронно працювати з різними, але не обов'язково взаємовиключними, поглядами на правову реальність [15]. Це прямо співвідноситься з ідеєю формування правового мислення у цифровому середовищі, де майбутній юрист має працювати з великим масивом альтернативних позицій, джерел і контекстів.

R. A. Shapira у своєму коментарі до ідей L. Zadeh акцентує на тому, що традиційна ймовірнісна логіка погано моделює саме семантичну невизначеність, тоді як нечітка логіка краще пристосована до опису юридично релевантних вимірювань, меж і стандартів [16]. Ця теза є важливою для навчання студентів-правників, оскільки дозволяє формувати в них розуміння різниці між невизначеністю через брак інформації та невизначеністю як властивістю самої мови права.

Serena Baldin у праці про fuzzy logic і fuzzy approach у порівняльному правознавстві переносить проблему нечіткості в площину класифікації правових систем [17]. Авторка обґрунтовує, що нечіткий підхід є корисним не лише для вузько процесуальних чи доказових задач, а й для ширших правових досліджень, включно з порівняльно-правовим

аналізом. Для юридичної освіти це важливо тим, що формує у студентів здатність мислити міждисциплінарно та уникати штучно жорстких класифікацій.

Останні джерела [18–21] переважно представляють прикладні напрями використання нечіткої логіки у сфері аналізу злочинності, кримінальних даних та прогнозування правопорушень. S. Khalid, S. A. Khan та S. Q. Ifzal пропонують нечітку модель зіставлення кримінальних даних із соціологічними теоріями злочинності [18]. A. Pramanik, A. K. Das, D. Pelusi та J. Nayak використовують нечітку кластеризацію звітів про злочини, що демонструє потенціал нечіткої логіки для роботи з текстовими масивами та цифровими корпусами даних [19]. K. Nithyakumar, P. Sridharan, R. Ramesh та S. Aarthi розглядають нечітку control logic як інструмент виявлення та попередження злочинів [20]. Z. Zhang, J. Huang, J. Hao, J. Gong та H. Chen досліджують виявлення зв'язків між рівнями злочинності за допомогою нечітких асоціативних правил [21]. Хоча ці праці безпосередньо не стосуються юридичної освіти, вони є важливими для вашої теми, оскільки демонструють, що цифрове середовище і нечітка логіка формують нову культуру правового аналізу, в якій майбутній юрист має бути здатним працювати з інтелектуальними системами, алгоритмами та складними багатофакторними моделями [18–21].

Отже, виконаний аналіз свідчить, що традиційна логіко-дедуктивна теорія судового рішення справді не залишає належного місця для нечіткості, яка пронизує як юридичну мову, так і встановлення фактів та оцінку чинності норм [8; 9; 14]. Саме тому сучасні дослідження дедалі активніше звертаються до нечіткої логіки як до методології, що дозволяє моделювати градуальність, варіативність та контекстність права [3; 5; 13]. У контексті формування правового мислення, зокрема, студентів-правників у цифровому середовищі це означає потребу переходу від суто силогістичного, жорстко бінарного навчання до розвитку інтерпретаційного, аргументаційного, аналітичного і цифрово орієнтованого типу мислення, здатного працювати з невизначеністю як з природною характеристикою правової реальності [15; 17-18].

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягають основні обмеження традиційної логіко-дедуктивної теорії судових рішень?
2. Чому правове мислення не можна звести лише до формального судового силогізму?
3. Які особливості юридичної мови зумовлюють виникнення правової невизначеності?
4. У чому полягають переваги використання нечіткої логіки для моделювання правових процесів?
5. Як нечіткі множини можуть застосовуватися для аналізу оціночних правових понять?
6. Яку роль відіграє нечітка логіка в процесі юридичної аргументації та тлумачення правових норм?
7. Чому принцип пропорційності в праві доцільно розглядати з позицій нечіткої логіки?
8. Яким чином нечітка логіка використовується для аналізу прецедентів та case-based reasoning?
9. Які можливості надає нечітка логіка для формалізації судових рішень і правової інтерпретації?
10. Як цифровізація права та розвиток систем штучного інтелекту впливають на використання нечіткої логіки в юридичній діяльності?
11. У чому полягають особливості застосування нечіткої логіки у кримінальному судочинстві?
12. Яке значення має нечітка логіка для формування сучасного правового мислення майбутніх юристів?

2.2. Нечітко-логічний підхід до аналізу правової невизначеності

У процесі викладання дисципліни «логіка» студентам-правникам виявлено методологічно значущу проблему, що має не лише дидактичний, а й виразний епістемологічний статус. Особливої актуальності ця проблема набуває в сучасних українських реаліях, коли викладання логіки для здобувачів юридичної освіти здійснюється як в очному, так і в онлайн- та дистанційному форматах. За таких умов питання чіткості, формалізації, інтерпретованості та методично вивіреного подання складних логічних конструкцій стає принципово важливим, оскільки цифрове освітнє середовище вимагає від викладача не лише адаптації змісту навчальної дисципліни, а й перегляду способів репрезентації тих понять, які традиційно подавалися в межах суто класичної двозначної логіки. Саме тому проблема відповідності між інструментарієм класичної логіки та реальною семантичною структурою правових норм набуває не лише теоретичного, а й безпосереднього методичного значення для організації сучасного юридичного навчання.

Традиційний категоріальний апарат класичної двозначної логіки, що покладений в основу більшості курсів з логіки для юридичних спеціальностей, виходить із моделі жорстко визначених суджень, які функціонують за схемою «істинне/хибне», «так/ні», «наявне/відсутнє». Така модель є ефективною щодо тих правових конструкцій, які мають чітко окреслені межі та однозначні умови застосування. Однак у процесі роботи з нормативно-правовими актами, які використовуються під час навчання майбутніх правників, виявляється, що значна частина правових норм побудована на *оціночних, градаційних, контекстуально залежних і семантично відкритих* категоріях.

Саме ця обставина зумовлює необхідність *логіко-методологічного розширення* традиційного підходу до аналізу юридичних текстів. Ідеться не про заперечення пізнавальної значущості класичної логіки, а про виявлення меж її застосовності в юридичній сфері та про доцільність залучення ширшого інструментарію багатозначної та нечіткої логіки. У цьому контексті класична двозначна логіка розглядається як окремий, спеціальний випадок ширшої системи логічного опису, в межах якої значення істинності можуть бути не лише дискретними, а й *градуальними*. У ще ширшому теоретичному сенсі саме нечітка логіка дозволяє описувати правові категорії як такі, що мають часткову належність, перехідні зони та змінну інтенсивність прояву ознаки. Це є надзвичайно важливим, оскільки дає змогу подати правове мислення не

як сукупність жорстких бінарних операцій, а як процес роботи з багаторівневою, наближеною та контекстуально зумовленою нормативною реальністю.

У правовій матерії така логічна перспектива виявляється особливо продуктивною, оскільки значна кількість нормативних конструкцій містить терміни, зміст яких не зводиться до одного суворо визначеного критерію. Категорії на кшталт «істотна шкода», «тяжкі наслідки», «грубе порушення», «значний розмір», «обмежена осудність», «суспільно небезпечне діяння» та інші подібні вирази не мають абсолютно чітких меж, а їх правове наповнення формується через співвідношення кількох параметрів, оцінку ступеня вираженості ознаки та конкретну ситуаційну інтерпретацію. Це означає, що відповідні правові приписи мають особливий епістемологічний статус: вони не є повністю невизначеними, але й не можуть бути коректно описані виключно в категоріях жорсткої бінарності. Саме тому їх доцільно аналізувати в термінах нечіткої логіки як таких, що допускають часткову належність, проміжні значення та багатокритеріальне оцінювання. Для навчального процесу це має ще й додаткову цінність, оскільки дозволяє перевести складні правові формулювання у більш структуровані моделі, придатні для пояснення, візуалізації та цифрового відтворення у навчальному середовищі.

З огляду на це авторами було здійснено аналітичний перегляд окремих норм *Кримінального кодексу України* [22]. При цьому треба спеціально наголосити, що Кримінальний кодекс України було вибрано не як єдиний або спеціально виокремлений об'єкт дослідження, а передусім як показовий, репрезентативний і методично зручний приклад нормативного масиву, який активно використовується під час викладання логіки студентам юридичних спеціальностей як в аудиторному, так і в онлайн- та дистанційному форматах. Отже, аналіз ККУ в цьому випадку має ілюстративно-методологічний характер: його положення розглядаються як репрезентативний матеріал для демонстрації того, що низка юридичних норм уже на рівні своєї мовної конструкції містить елементи нечіткості, які можуть бути виявлені, систематизовані та інтерпретовані за допомогою відповідного логічного інструментарію.

Внаслідок такого аналізу було виокремлено низку найбільш характерних статей і нормативних формулювань, що демонструють наявність *семантичної, оціночної, градаційної, багатокритеріальної та статусної нечіткості*. Саме ці приклади становлять інтерес не лише з позицій теорії права, а й з погляду методики викладання логіки, оскільки дають змогу наочно показати студентам, що правове мислення в реальній

нормативній практиці функціонує не тільки у режимі класичної дедукції, а й у площині *наближеного, градуального та контекстуально зумовленого міркування*. Особливої методичної ваги такий підхід набуває в умовах онлайн- та дистанційного навчання, де візуалізація, структуризація та цифрове моделювання логічних і правових категорій стають важливими засобами підвищення якості сприйняття навчального матеріалу.

Систематизацію таких прикладів, відповідних видів нечіткості, прикладів їх вербалізації у статтях Кримінального кодексу України та їх коротку характеристику з позицій нечіткої логіки наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

**Лінгвістичні прояви нечіткості
у Кримінальному кодексі України
(з позицій нечіткої логіки)**

№	Види нечіткості	Приклади виразів із ККУ та статті	Характеристика (з позицій нечіткої логіки)
1	Оціночна нечіткість суспільної безпеки	«суспільно небезпечне діяння»: ст. 1, ст. 11	Категорія «суспільна безпека» не має чітких меж і передбачає градацію (низька–середня–висока), що відповідає концепції функції належності
2	Нечіткість істотності шкоди	«істотна шкода», «малозначність» – ст. 11	Межа між істотною та неістотною шкодою є розмитою і залежить від контексту, що характерно для нечітких множин
3	Градаційна нечіткість тяжкості злочину	«нетяжкий», «тяжкий», «особливо тяжкий злочин» – ст. 12	Категорії мають ієрархічну шкалу та відображають лінгвістичні змінні з нечіткими переходами між класами
4	Психолого-правова нечіткість стану особи	«обмежено осудна», «не була здатна повною мірою усвідомлювати» – ст. 20	Осудність не є бінарною категорією, а має ступені, що прямо відповідає ідеї нечіткої логіки
5	Нечіткість здатності до усвідомлення і контролю	«могла усвідомлювати свої дії», «керувати ними» – ст. 19	Рівень усвідомлення та контролю є градуальним, а не дискретним, що потребує моделювання через інтервали значень
6	Нечіткість потенційної шкоди	«не могла заподіяти шкоду» – ст. 11	Оцінка потенційної шкоди базується на ймовірності та ступені ризику, а не на чітко визначених параметрах
7	Нечіткість спрямованості дії	«безпосередньо спрямоване на вчинення» – ст. 15	Межа між підготовкою та замахом є розмитою і визначається ступенем наближення до результату

№	Види нечіткості	Приклади виразів із ККУ та статті	Характеристика (з позицій нечіткої логіки)
8	Нечіткість достатності дій	«дії, які вважала необхідними» – ст. 15	Оцінка достатності є суб'єктивною і залежить від інтерпретації, що відповідає нечітким критеріям
9	Нечіткість добровільності	«добровільна відмова», «остаточне припинення» – ст. 17	Поняття добровільності та остаточності не мають чітких меж і оцінюються за ступенем прояву
10	Нечіткість статусу особи	«постійно», «тимчасово», «за спеціальним повноваженням» – ст. 18	Ці категорії мають перехідні стани, що робить їх типовими лінгвістичними змінними
11	Нечіткість інтенсивності порушення	«грубе порушення» – ст. 172, ст. 287	Оцінка «грубості» є суб'єктивною та контекстною, без чіткої кількісної межі
12	Нечіткість наслідків	«тяжкі наслідки» – ст. 161 та ін.	Категорія об'єднує комплекс характеристик (масштаб, тривалість, шкода), що не зводяться до одного параметра
13	Градаційна шкала розміру	«значний», «великий», «особливо великий розмір» – ст. 176, 177	Поєднання лінгвістичних оцінок із числовими межами є прикладом частково формалізованої нечіткості
14	Нечіткість фізіологічного стану	«стан сп'яніння» – ст. 21	Стан має різні ступені інтенсивності, що не закріплені жорстко у нормі
15	Нечіткість впливу факторів	«знижують увагу та швидкість реакції» – ст. 21	Ступінь зниження не визначений чітко і може варіюватися
16	Нечіткість тілесної шкоди	«середньої тяжкості», «тяжке ушкодження» – різні статті	Класифікація базується на шкалі тяжкості, а не на абсолютних межах
17	Нечіткість мотиву	«з особистих мотивів» – ст. 172	Мотив є внутрішньою категорією, яка не має чіткої об'єктивної міри
18	Багатокритеріальна нечіткість	«за низкою ознак» – ст. 161	Класифікація здійснюється за набором критеріїв без чітких меж, що відповідає нечіткому багатofакторному аналізу

Наведена систематизація надає змогу зробити висновок, що нечіткість у кримінально-правових нормах має не випадковий, а закономірний характер. Вона проявляється у різних формах: через оціночні поняття, градаційні категорії, розмиті межі між правовими станами, багатокритеріальність кваліфікації та залежність правового висновку від конкретного контексту. Саме тому аналіз таких норм не може обмежуватися лише класичним формально-логічним підходом,

який передбачає жорстке розмежування істинного й хибного, наявного й відсутнього, правомірного й неправомірного.

Особливе значення має те, що виявлені у табл. 2.1 прояви нечіткості можуть бути не лише описані теоретично, а й формалізовані за допомогою інструментарію нечіткої логіки. Для цього оціночні правові категорії доцільно подати у вигляді лінгвістичних змінних, визначити для них відповідні функції належності, сформуувати базу нечітко-логічних правил та побудувати модель, здатну відображати поступовий характер правової оцінки. Такий підхід дозволяє перейти від загального виявлення нечіткості в юридичному тексті до її практичного моделювання.

З огляду на це подальший виклад доцільно спрямувати на демонстрацію конкретного прикладу побудови нечітко-логічної моделі, яка дозволяє проаналізувати правовий стан у ситуації, де юридичний висновок залежить від кількох оціночних і градаційних ознак. Саме тому в наступному підрозділі буде розглянуто приклад формалізації правової норми засобами нечіткої логіки, визначення вхідних і вихідних змінних, побудови функцій належності та формування правил нечіткого логічного виведення.

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягають основні переваги нечітко-логічного підходу до аналізу правової невизначеності?
2. Чому значна частина правових норм не може бути адекватно описана лише засобами класичної двозначної логіки?
3. Які особливості правових категорій зумовлюють доцільність використання нечіткої логіки в юридичному аналізі?
4. Що таке лінгвістична нечіткість та як вона проявляється у правових нормах?
5. Які види нечіткості можна виявити у положеннях Кримінального кодексу України?
6. Чому поняття «істотна шкода», «тяжкі наслідки» та «грубе порушення» належать до нечітких правових категорій?
7. Як нечітка логіка може використовуватися для аналізу ступеня суспільної небезпеки діяння?
8. Яким чином нечітко-логічні моделі можуть застосовуватися для оцінювання якості нормативно-правового регулювання?
9. Яке значення має нечітка логіка для цифровізації правового аналізу та юридичної освіти?
10. Чому нечітко-логічний підхід дозволяє більш повно враховувати контекстність і багатоваріантність правової реальності порівняно з класичною логікою?

2.3. Приклад побудови нечітко-логічної моделі в аналізі правового стану

Методологічна основа дослідження базується на поєднанні логіко-теоретичного аналізу, лінгвістичної інтерпретації правових норм та інструментарію нечіткої логіки як засобу формалізації семантично невизначених категорій. У роботі використано міждисциплінарний підхід, що інтегрує елементи теорії права, логіки, теорії нечітких множин і методики викладання у цифровому освітньому середовищі.

На першому етапі дослідження було здійснено аналіз нормативно-правових актів, які використовуються у навчальному процесі під час викладання дисципліни «логіка» студентам юридичних та управлінських спеціальностей. Зокрема, Кримінальний кодекс України було вибрано як репрезентативне джерело правового матеріалу, що містить значну кількість оціночних і градаційних конструкцій. При цьому зазначений нормативний акт розглядався не як спеціальний об'єкт дослідження, а як ілюстративна база для виявлення лінгвістичних форм нечіткості у правових нормах.

На другому етапі було проведено лінгвістично-логічний аналіз окремих положень кодексу з метою виявлення семантично невизначених категорій. У результаті було ідентифіковано низку лінгвістичних змінних, що характеризуються нечіткими межами та градуальним змістом. Особливу увагу приділено статті 17 Кримінального кодексу України, яка містить ключові оціночні конструкції, пов'язані з добровільністю, остаточністю припинення та усвідомленням можливості доведення правопорушення до кінця. Саме ці елементи було інтерпретовано як вхідні змінні нечіткої моделі.

На третьому етапі здійснено формалізацію виявлених категорій у вигляді нечітко-логічної системи. Було визначено три вхідні змінні: *VR* (*Voluntariness of Refusal*), *FR* (*Finality of Refusal*) та *AC* (*Awareness of Completion*), а також одну вихідну змінну – *RVR* (*Recognition of Voluntary Refusal*). Для кожної змінної встановлено універсальний діапазон значень $[0; 1]$, що відповідає стандартному підходу у нечіткій логіці та дозволяє відобразити ступінь належності до відповідної лінгвістичної категорії.

На четвертому етапі було сформовано нечітку базу знань, що включає 8 правил типу «if-then», які відображають усі можливі комбінації значень трьох вхідних змінних. Кожне правило інтерпретує відповідну комбінацію параметрів і формує вихідне значення змінної *RVR*. Агрегація правил здійснювалася на основі методу Мамдані, який є

одним із найбільш поширених підходів у нечітко-логічному моделюванні.

Моделювання системи реалізовано у програмному середовищі *MATLAB* з використанням пакета *Fuzzy Logic Toolbox* (версія R2021a, *MathWorks*). У процесі моделювання побудовано функції належності, сформовано базу правил, а також здійснено візуалізацію результатів за допомогою інструментів *Rule Viewer* та *Surface Viewer*. Для отримання чіткого результату застосовано процедуру дефазифікації (метод центру тяжіння), що дозволило перевести нечіткі значення у конкретний числовий показник.

З метою конкретизації виявлених проявів нечіткості у кримінально-правових нормах та переходу від загального теоретичного аналізу до прикладного моделювання для ілюстрації вибрано статтю 17 Кримінального кодексу України, присвячену добровільній відмові при незакінченому кримінальному правопорушенні [22]. Вибір саме цієї статті зумовлений тим, що її нормативна конструкція містить низку оціночних і градаційних категорій, зокрема таких, як «за своєю волею», «остаточне припинення» та «усвідомлювала можливість доведення кримінального правопорушення до кінця», які мають виразний потенціал для інтерпретації в термінах нечіткої логіки.

У межах виконаного дослідження зазначену статтю було взято як приклад правової норми з внутрішньо властивою семантичною нечіткістю, що дає змогу детально проаналізувати логічну структуру її змісту та виокремити ті елементи, які не можуть бути повною мірою описані лише у категоріях класичної бінарної логіки. Основна увага при цьому зосереджується на виявленні предмета нечіткості в тексті норми, подальшому структуруванні відповідних лінгвістичних змінних та спробі візуалізувати виявлену нечіткість за допомогою інструментарію *нечіткої логіки*. Такий підхід дає змогу продемонструвати, яким чином юридичні конструкції, що традиційно подаються у словесній формі, можуть бути перетворені на формалізовану модель для подальшого аналізу, інтерпретації та використання як у дослідницькому, так і в освітньому контексті.

Звернення саме до статті 17 КК України є доцільним ще й тому, що вона дозволяє наочно показати межі застосування класичної логіки та переваги логіко-методологічного розширення через залучення нечіткої логіки. Подібний підхід сприяє розвитку вміння працювати з оціночними поняттями, інтерпретувати прикордонні правові ситуації та усвідомлювати, що юридичне мислення не завжди зводиться до жорсткої дихотомії «так/ні». Саме тому ця стаття є не лише зручним прикладом

для наукового аналізу, а й ефективним дидактичним матеріалом для формування у здобувачів вищої юридичної освіти більш гнучкого, аналітичного та інтерпретаційно орієнтованого типу мислення.

Нижче наведено текст статті 17, безпосередньо взятий із нормативного джерела, що слугує базою для подальшого логіко-лінгвістичного, нечітко-логічного та методично-дидактичного аналізу [22]:

Стаття 17. Добровільна відмова при незакінченому кримінальному правопорушенні

1. Добровільною відмовою є остаточне припинення особою за своєю волею готування до кримінального правопорушення або замаху на кримінальне правопорушення, якщо при цьому вона усвідомлювала можливість доведення кримінального правопорушення до кінця.

2. Особа, яка добровільно відмовилася від доведення кримінального правопорушення до кінця, підлягає кримінальній відповідальності лише в тому разі, якщо фактично вчинене нею діяння містить склад іншого кримінального правопорушення.

Аналізуючи зміст статті 17 Кримінального кодексу України, можна зробити висновок, що в її нормативній конструкції наявні *три* вхідні змінні, які за своєю природою можуть бути подані у нечіткому вигляді, оскільки *не мають абсолютно жорстких меж* і допускають *градаційне тлумачення*. До таких змінних належать: *VR – Voluntariness of Refusal* (ступінь добровільності відмови), *FR – Finality of Refusal* (ступінь остаточності припинення) та *AC – Awareness of Completion* (рівень усвідомлення можливості доведення кримінального правопорушення до кінця).

На цій підставі зазначені змінні в межах конкретного змісту статті 17 ККУ можуть бути подані у формі, зручній для подальшого нечітко-логічного моделювання, де вхідними змінними є саме *VR*, *FR* та *AC*, а як вихідна змінна – *RVR (Recognition of Voluntary Refusal)*, тобто рівень визнання добровільної відмови. Така структура дозволяє перейти від словесно-правової форми норми до її формалізованого представлення у вигляді нечіткої системи, придатної для аналізу, візуалізації та подальшого використання як у науковому, так і в освітньому середовищі.

Нечітка логіка в цьому випадку розглядається як сучасний інструмент опису систем, що характеризуються наявністю невизначеності, градуальності та переходів між полярними станами [23]. Її застосування є особливо продуктивним у тих випадках, коли об'єкт дослідження не може бути адекватно поданий виключно в межах

класичної бінарної логіки, а потребує врахування проміжних, частково виражених і контекстуально зумовлених значень.

Треба також зазначити, що є досвід застосування нечітко-логічного інструментарію в різних наукових галузях, включаючи як технічні та економічні напрями досліджень, так і гуманітарні дисципліни [24; 25]. Саме цей міждисциплінарний досвід створює підґрунтя для перенесення методів нечіткого моделювання у сферу правового аналізу, що дозволяє розширити методичні можливості викладання логіки студентам-правникам та поглибити інтерпретацію норм права в умовах сучасного очного, онлайн- та дистанційного навчання.

На рис. 2.1 наведено загальну будову конструктора нечітко-логічної експертної системи як перетворення вхідних даних усередині самої системи. Як видно з рис. 2.1, для нечітко-логічного підходу з метою визначення рівня визнання добровільної відмови від доведення кримінального правопорушення до кінця (*Recognition of Voluntary Refusal (RVR)*) вибрано три вхідні змінні, що впливають на формування вихідного результату, а саме: ступінь добровільності відмови (*Voluntariness of Refusal (VR)*) (1-й показник), ступінь остаточності припинення (*Finality of Refusal (FR)*) (2-й показник) та рівень усвідомлення можливості доведення кримінального правопорушення до кінця (*Awareness of Completion (AC)*) (3-й показник).

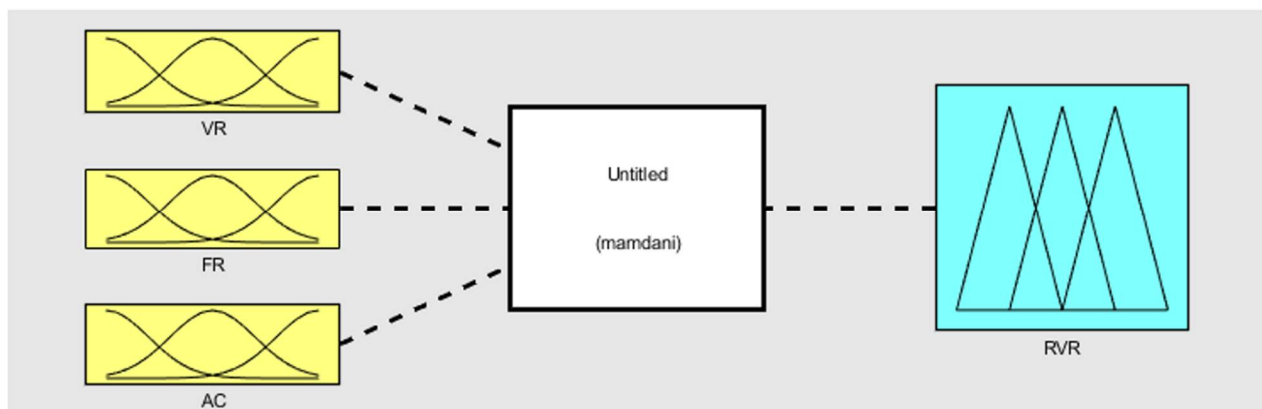


Рис. 2.1. Загальна будова конструктора нечітко-логічної системи визначення рівня визнання добровільної відмови від доведення кримінального правопорушення до кінця (*Recognition of Voluntary Refusal (RVR)*) на основі вхідних змінних *VR* – *Voluntariness of Refusal*, *FR* – *Finality of Refusal* та *AC* – *Awareness of Completion*

Наступний етап побудови нечіткої експертної системи заснований на виборі функції належності. Нечітка модель досить ускладнює модель, якщо вона заснована на значній кількості вхідних змінних, через що кількість вхідних змінних вимагає обґрунтованого оптимального значення.

Для побудови нечітко-логічної моделі визначення рівня визнання добровільної відмови нами вибрано різні типи функцій належності для вхідних та вихідної змінних, що обумовлено їх змістовною природою та особливостями інтерпретації у правовому середовищі. Зокрема, для трьох вхідних змінних – ступеня добровільності відмови (*Voluntariness of Refusal (VR)*), ступеня остаточності припинення (*Finality of Refusal (FR)*) та рівня усвідомлення можливості доведення кримінального правопорушення до кінця (*Awareness of Completion (AC)*) – доцільно використовувати трапецієподібні функції належності, які дозволяють відобразити наявність чітко виражених зон належності та перехідних областей між ними.

Трапецієподібна функція належності має вигляд кусочно-лінійної залежності та задається формулою:

$$\mu(x) = \{0, x \leq a; (x - a)/(b - a), a < x \leq b; 1, b < x \leq c; (d - x)/(d - c), c < x \leq d; 0, x > d\}, \quad (2.1)$$

де параметри a, b, c, d визначають відповідно початок зростання функції, початок області повної належності, кінець області повної належності та точку спадання до нуля. Така форма функції забезпечує можливість виділення ділянок, у яких ознака однозначно проявляється (наприклад, повністю добровільна або повністю недобровільна відмова), а також зон поступового переходу, що є характерним для правових оціночних категорій.

Вибір саме трапецієподібних функцій належності для змінних *VR*, *FR* та *AC* зумовлений тим, що вони найбільш адекватно відображають природу юридичних понять, які мають як чітко визначені стани, так і проміжні значення. Зокрема, для кожної з вхідних змінних передбачено дві лінгвістичні градації (наприклад, «*Involuntary / Voluntary*», «*Non-final/Final*», «*Unaware/Aware*»), між якими існує зона невизначеності, що й моделюється за допомогою похилих ділянок трапеції.

На відміну від вхідних змінних, для вихідної змінної — рівня визнання добровільної відмови (*Recognition of Voluntary Refusal (RVR)*) – доцільно використовувати узагальнену дзвонуватої функцію належності, яка забезпечує плавний перехід між станами невизнання та визнання. Така функція має вигляд:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}, \quad (2.2)$$

де параметр a визначає ширину функції, b – крутизну її схилів, а c – координату центру (максимуму функції). Використання дзвонуватої функції дозволяє уникнути різких переходів у вихідному результаті та забезпечує більш реалістичне моделювання процесу формування юридичного висновку.

Отже, поєднання трапецієподібних функцій належності для вхідних змінних та дзвонуватої функції для вихідної змінної забезпечує адекватне відображення як дискретно-оціночної природи правових категорій, так і їх поступового переходу між різними станами, що є ключовою перевагою застосування нечіткої логіки у моделюванні правового мислення.

Наступним етапом побудови нечіткої моделі є ідентифікація нечітко-логічних правил. Враховуючи, що кількість вхідних даних моделі (вхідних змінних) дорівнює ω , а кожен вхід має z нечітких множин (функцій належності), то кількість правил нечіткої логіки можна визначити наступною формулою:

$$r = z^{\omega}. \quad (2.3)$$

Кількість нечітких множин на кожному вході приймаємо як $z=2$, кількість вхідних змінних приймаємо як $\omega = 3$. Тоді загальна кількість усіх можливих комбінацій вхідних термів дорівнює $r = 2^3 = 8$ для забезпечення повноти моделі.

Моделювання інтегрального ступеня концентрації ринку реалізовано із застосуванням інструментальних засобів *Fuzzy Logic Toolbox* у середовищі *MATLAB* (версія *R2021a*), розробленому компанією *MathWorks*, що забезпечує можливість побудови та аналізу нечітко-логічних моделей.

На рис. 2.2–2.5 зображено атрибути та функції належності для трьох вхідних змінних (VR , FR , AC) і однієї вихідної змінної (RVR). На рис. 2.2 зображено вхідну змінну VR («Ступінь добровільності відмови» або *Voluntariness of Refusal (VR)*), що має два атрибути (функції належності): *Involuntary* — відповідає недобровільному значенню показника VR , *Voluntary* — відповідає добровільному значенню показника VR . Дану функцію визначено як трапецієподібну та визначаємо у діапазоні $[0\ 1]$, де числа від 0 до 1 позначають рівні добровільності відмови. Функція *Involuntary* — недобровільний рівень VR — має параметри $[0\ 0\ 0.2\ 0.8]$, функція *Voluntary* — добровільний рівень VR — має параметри $[0.2\ 0.8\ 1\ 1]$.

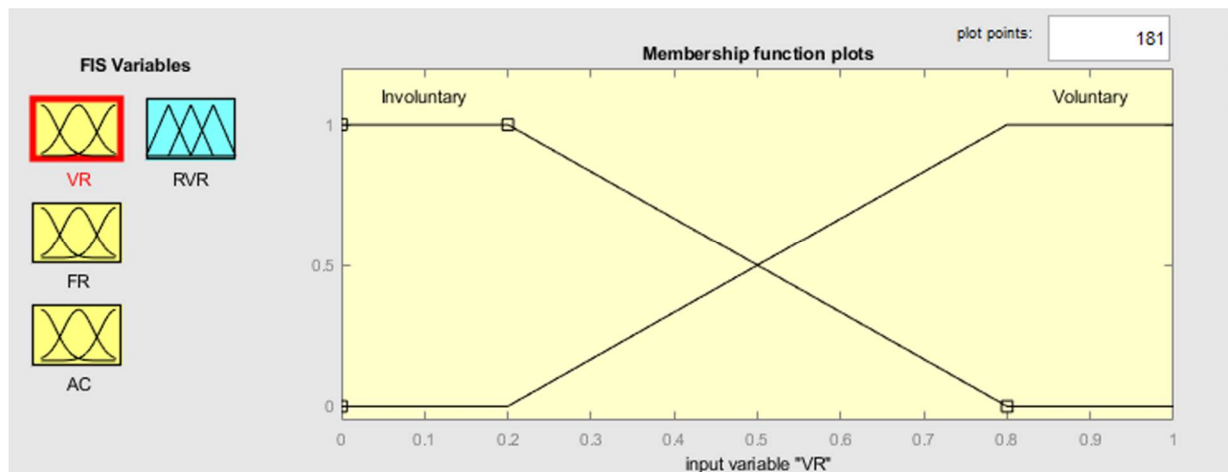


Рис. 2.2. Функції належності для входної лінгвістичної змінної *VR* («Ступінь добровільності відмови» або *Voluntariness of Refusal*)

На рис. 2.3 зображено входну змінну *FR* («Ступінь остаточності припинення» або *Finality of Refusal (FR)*), що має два атрибути (функції належності): *Non-final* – відповідає неостаточному значенню показника *FR*, *Final* – відповідає остаточному значенню показника *FR*. Дану функцію визначено як трапецієподібну та визначаємо у діапазоні $[0\ 1]$, де числа від 0 до 1 позначають рівні остаточності припинення. Функція *Non-final* – неостаточний рівень показника *FR* – має параметри $[0\ 0\ 0.2\ 0.8]$, функція *Final* – остаточний рівень показника *FR* – має параметри $[0.2\ 0.8\ 1\ 1]$.

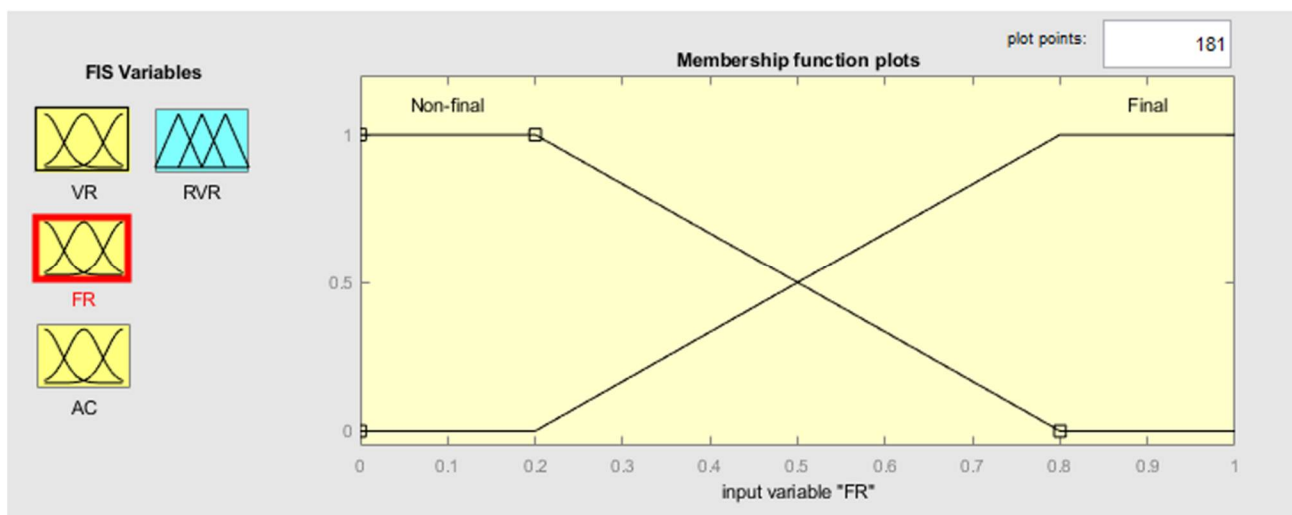


Рис. 2.3. Функції належності для входної лінгвістичної змінної *FR* («Ступінь остаточності припинення» або *Finality of Refusal*)

На рис. 2.4 зображено вхідну змінну *АС* («Рівень усвідомлення можливості доведення кримінального правопорушення до кінця» або *Awareness of Completion (AC)*), що має два атрибути (функції належності): *Unaware* – відповідає низькому рівню усвідомлення можливості доведення кримінального правопорушення до кінця, *Aware* – відповідає високому рівню усвідомлення зазначеної можливості. Дану функцію визначено як трапецієподібну та визначаємо у діапазоні $[0\ 1]$, де числа від 0 до 1 позначають рівні усвідомлення. Функція *Unaware* – низький рівень показника *АС* – має параметри $[0\ 0\ 0.2\ 0.8]$, функція *Aware* – високий рівень показника *АС* – має параметри $[0.2\ 0.8\ 1\ 1]$.

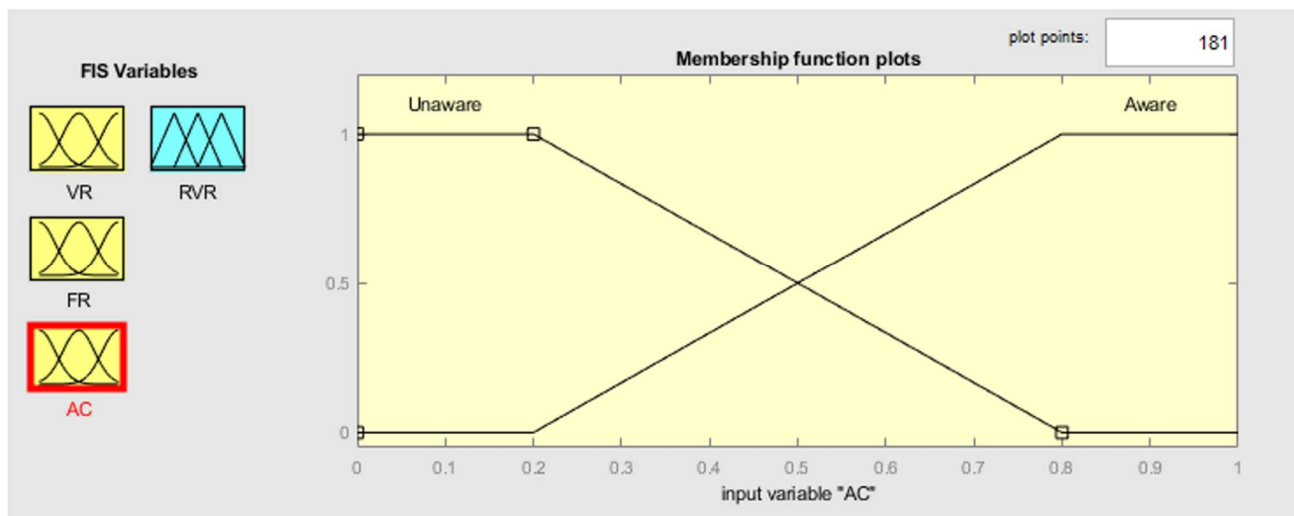


Рис. 2.4. Функції належності для вхідної лінгвістичної змінної *АС* («Рівень усвідомлення можливості доведення кримінального правопорушення до кінця» або *Awareness of Completion*)

На рис. 2.5 зображено вихідну змінну – рівень визнання добровільної відмови від доведення кримінального правопорушення до кінця (*RVR* – *Recognition of Voluntary Refusal*), яка має два атрибути (функції належності): *NotRecognized* – відповідає невизнанню добровільної відмови, *Recognized* – відповідає визнанню добровільної відмови. Дану функцію визначено як дзвоноподібну та визначаємо у діапазоні $[0\ 1]$, де числа від 0 до 1 позначають рівні визнання добровільної відмови. Функція *NotRecognized* – низький рівень показника *RVR* – має параметри $[0.2\ 3\ 0.3]$, функція *Recognized* – високий рівень показника *RVR* – має параметри $[0.2\ 3\ 0.7]$.

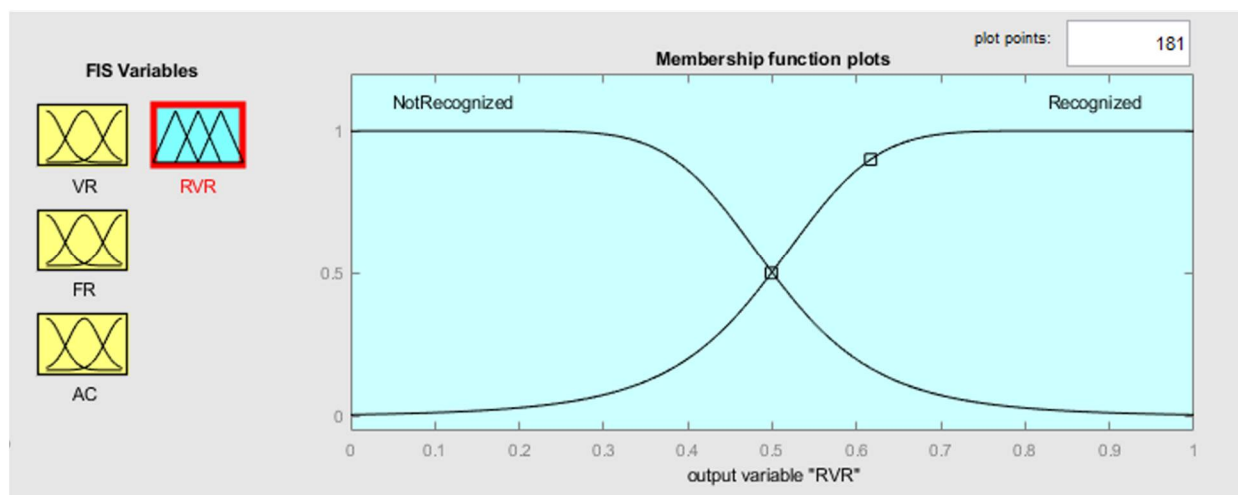


Рис. 2.5. Функції належності для вихідної лінгвістичної змінної *RVR* («Рівень визнання добровільної відмови від доведення кримінального правопорушення до кінця» або *Recognition of Voluntary Refusal*)

На підставі опису трьох вхідних і однієї вихідної змінної визначаємо $2^3 = 8$ нечітких правил для висновку вихідної змінної.

Правила нечіткої логіки подамо так.

Правило 1: *If (VR is Involuntary) and (FR is Non-final) and (AC is Unaware) then (RVR is NotRecognized).*

Правило 2: *If (VR is Involuntary) and (FR is Non-final) and (AC is Aware) then (RVR is NotRecognized).*

Правило 3: *If (VR is Involuntary) and (FR is Final) and (AC is Unaware) then (RVR is NotRecognized).*

Правило 4: *If (VR is Involuntary) and (FR is Final) and (AC is Aware) then (RVR is NotRecognized).*

Правило 5: *If (VR is Voluntary) and (FR is Non-final) and (AC is Unaware) then (RVR is NotRecognized).*

Правило 6: *If (VR is Voluntary) and (FR is Non-final) and (AC is Aware) then (RVR is Recognized).*

Правило 7: *If (VR is Voluntary) and (FR is Final) and (AC is Unaware) then (RVR is Recognized).*

Правило 8: *If (VR is Voluntary) and (FR is Final) and (AC is Aware) then (RVR is Recognized).*

З метою наочного наведення отриманої нечіткої бази знань, а також для демонстрації взаємозв'язків між вхідними та вихідною змінними, результати формалізації подано у вигляді структурованої табл. 2.2 з кольоровою диференціацією, яка дозволяє візуально відобразити позитивні, негативні та проміжні стани системи.

Таблиця 2.2

**Нечітка база правил для моделі визначення рівня
визнання добровільної відмови (RVR)**

№	VR	FR	AC	RVR	Коротке пояснення
1	Involuntary	Non-final	Unaware	NotRecognized	Відмова не є добровільною, не має остаточного характеру, а особа не усвідомлює можливість доведення кримінального правопорушення до кінця. За сукупністю цих умов правовий висновок формується як негативний, оскільки відсутні всі ключові ознаки, необхідні для визнання добровільної відмови
2	Involuntary	Non-final	Aware	NotRecognized	Хоча особа усвідомлює можливість доведення кримінального правопорушення до кінця, відмова не є добровільною та не має остаточного характеру. Усвідомлення саме собою не компенсує відсутність двох інших істотних умов, тому результат моделі залишається негативним
3	Involuntary	Final	Unaware	NotRecognized	Остаточність припинення у цьому випадку не супроводжується ані добровільністю, ані усвідомленням можливості завершення правопорушення. За таких умов навіть наявність однієї позитивної ознаки не створює достатніх підстав для визнання добровільної відмови
4	Involuntary	Final	Aware	NotRecognized	Незважаючи на остаточність припинення та усвідомлення можливості завершення правопорушення, вирішальною обставиною є відсутність добровільності. Оскільки відмова не здійснюється за власною волею особи, підсумковий висновок системи залишається негативним

№	VR	FR	AC	RVR	Коротке пояснення
5	Voluntary	Non-final	Unaware	NotRecognized	Наявність добровільності сама по собі є недостатньою, якщо припинення не має остаточного характеру, а особа не усвідомлює можливість доведення правопорушення до кінця. У такій ситуації позитивний внесок однієї ознаки не переважає сукупний вплив двох негативних факторів
6	Voluntary	Non-final	Aware	Recognized	Добровільність відмови та усвідомлення можливості доведення кримінального правопорушення до кінця формують позитивний внесок у загальний висновок системи. Хоча відсутність остаточності не дозволяє вважати цей випадок максимально сильним, агрегований результат уже зміщується в бік визнання добровільної відмови
7	Voluntary	Final	Unaware	Recognized	Поєднання добровільності та остаточного припинення створює вагомі підстави для позитивного висновку. Водночас відсутність усвідомлення можливості завершення правопорушення послаблює інтенсивність такого висновку, тому цей випадок треба розглядати як позитивний, але не максимально визначений
8	Voluntary	Final	Aware	Recognized	Усі три ключові умови виконані одночасно: відмова є добровільною, припинення має остаточний характер, а особа усвідомлює можливість доведення кримінального правопорушення до кінця. Саме ця комбінація формує найсильніший позитивний висновок в межах побудованої нечітко-логічної моделі та найбільш повно відповідає змісту статті 17 КК України

З огляду на визначені правила на рис. 2.6 подано процес застосування правил нечітко-логічної системи для визначення рівня визнання добровільної відмови від доведення кримінального правопорушення до кінця (*Recognition of Voluntary Refusal (RVR)*) при заданих значеннях вхідних змінних: ступеня добровільності відмови (*Voluntariness of Refusal (VR)* = 0.75), ступеня остаточності припинення (*Finality of Refusal (FR)* = 0.75) та рівня усвідомлення можливості доведення правопорушення до кінця (*Awareness of Completion (AC)* = 0.75). Візуалізація дозволяє простежити ступінь активації кожного з нечітких правил, їхній внесок у формування вихідної змінної та процес агрегування результатів з подальшою дефазифікацією, що забезпечує отримання чіткого значення показника $RVR = 0.703$.

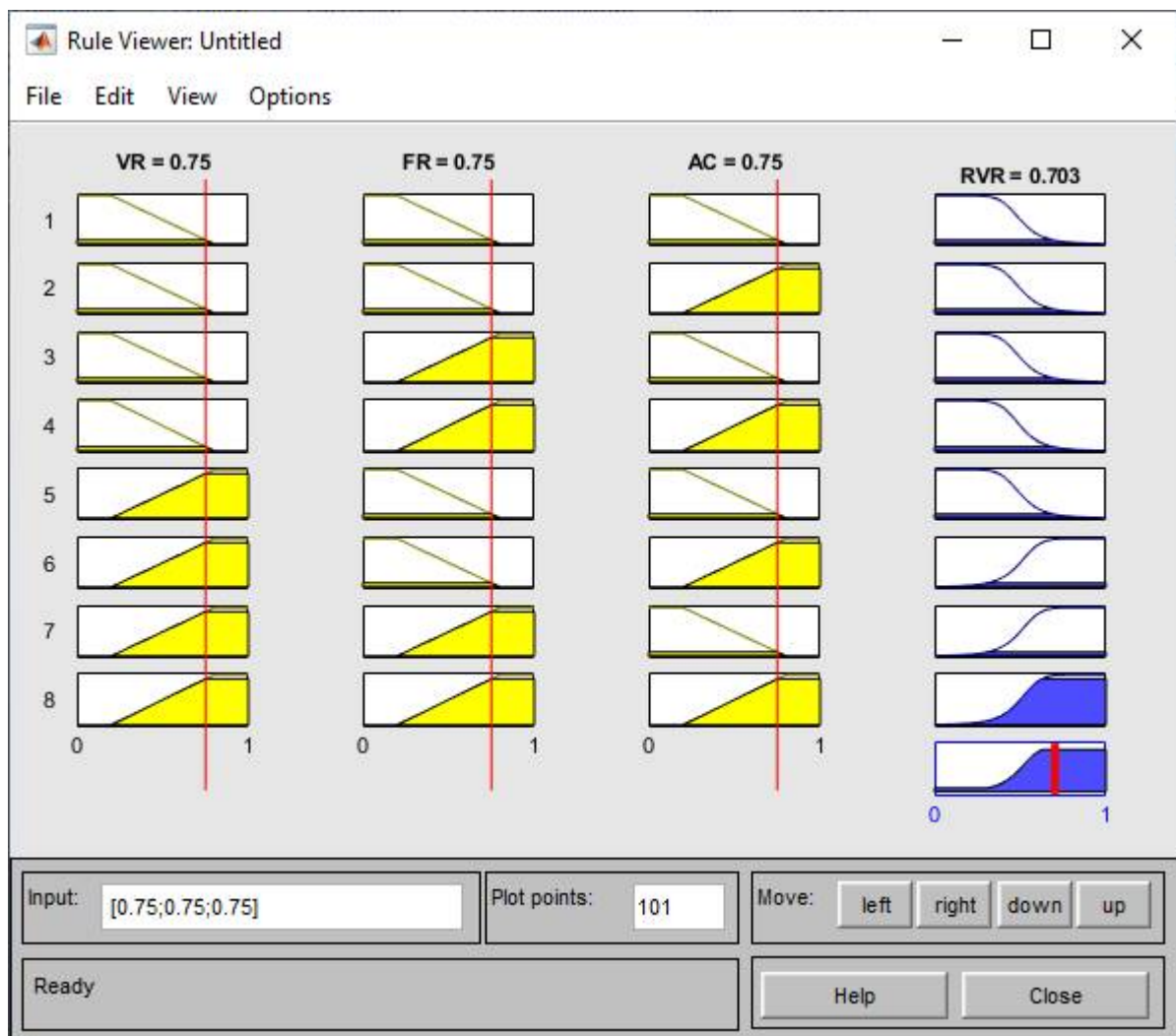


Рис. 2.6. Перегляд правил нечітко-логічної системи (*Rule Viewer*) для моделі визначення рівня визнання добровільної відмови від доведення кримінального правопорушення до кінця (*RVR*) при значеннях вхідних змінних $VR = 0.75$, $FR = 0.75$, $AC = 0.75$

На рис. 2.6 видно, що в межах побудованої нечітко-логічної системи активуються не лише правила, які формують вихід *NotRecognized*, а й правила, що відповідають за вихід *Recognized*. Зокрема, у даній моделі три правила з восьми формують позитивний внесок у підсумковий результат, тобто орієнтовані на визнання добровільної відмови. Це свідчить про те, що модель реалізує не жорстку бінарну логіку, за якої лише одна комбінація вхідних параметрів призводить до позитивного висновку, а більш гнучкий нечіткий підхід, в межах якого підсумкове рішення формується як результат агрегованого впливу кількох правил.

Водночас треба наголосити, що така система не є повністю «м'якою» у змістовому розумінні, оскільки її кінцева мета полягає не просто у фіксації ступеня належності до множини *Recognized*, а у виробленні юридично значущого висновку, який у практичному застосуванні повинен мати чітку форму. Інакше кажучи, хоча всередині моделі висновок формується як нечіткий і виражається числовим значенням у діапазоні від 0 до 1, для потреб правової інтерпретації це значення повинно бути перетворене у crisp-висновок, тобто у чітке рішення типу «визнається» / «не визнається».

Саме з цією метою використовується процедура дефазифікації, результатом якої в даному випадку є значення $RVR = 0.703$. Однак саме собою це число ще не є остаточним юридичним висновком, а лише показує ступінь належності конкретної ситуації до множини випадків, у яких добровільна відмова визнається. Для переходу від нечіткого результату до чіткого правового рішення необхідно встановити порогове значення. Таке порогове значення виконує роль межі нечіткості, після перетину якої результат моделі інтерпретується як достатній для позитивного юридичного висновку.

У межах цієї моделі доцільно встановити поріг на рівні 0.7. Такий вибір є обґрунтованим, оскільки, з одного боку, він не є надто низьким і не призводить до необґрунтовано широкого визнання добровільної відмови, а з іншого – не є надмірно високим, що могло б зробити модель занадто суворою та нечутливою до прикордонних випадків. Порогове значення 0.7 відображає вимогу достатньо високого рівня прояву тих ознак, які закладені у вхідних змінних VR , FR та AC , і водночас узгоджується з юридичною природою досліджуваної норми, де остаточне рішення має бути чітким.

Отже, якщо після дефазифікації виконується умова $RVR \geq 0.7$, результат моделі може бути інтерпретований як визнання добровільної відмови. Якщо ж $RVR < 0.7$, то робиться висновок про невизнання

добровільної відмови. У випадку, наведеному на рис. 2.6, значення $RVR = 0.703$ перевищує встановлений поріг, а отже, в межах побудованої моделі отриманий результат треба трактувати як позитивне визнання добровільної відмови.

Отже, на рис. 2.6 зображено не лише технічний процес спрацювання нечітких правил, а й логіку переходу від нечіткого агрегованого висновку до чіткого юридичного рішення. Саме такий підхід дозволяє поєднати гнучкість нечіткої логіки на етапі оцінювання правових ознак із необхідністю отримання однозначного результату на етапі правозастосування.

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягають особливості застосування нечіткої логіки для аналізу правового стану?
2. Які етапи побудови нечітко-логічної моделі були використані для оцінювання добровільної відмови від доведення кримінального правопорушення до кінця?
3. Чому статтю 17 Кримінального кодексу України можна розглядати як приклад правової норми з елементами семантичної нечіткості?
4. Які вхідні та вихідні змінні використано в побудованій нечітко-логічній моделі?
5. Чому для вхідних змінних моделі було вибрано трапецієподібні функції належності?
6. Які переваги забезпечує використання дзвонуватої функції належності для вихідної змінної RVR ?
7. Яким чином визначається кількість нечітко-логічних правил у моделі?
8. У чому полягає сутність методу Мамдані та яке його значення для побудови нечітких експертних систем?
9. Для чого використовується процедура дефазифікації та яке практичне значення має порогове значення 0,7 у моделі?
10. Які переваги надає нечітко-логічне моделювання для інтерпретації правових норм порівняно з класичною бінарною логікою?

2.4. Аналіз та інтерпретація побудованої моделі

На рис. 2.7 зображено результати візуалізації нечітко-логічної моделі у вигляді поверхонь виводу, які відображають залежність вихідної змінної *RVR* (*Recognition of Voluntary Refusal*) від комбінацій значень вхідних змінних. На відміну від аналізу окремих точкових значень (як це було показано на попередньому рисунку), це подання дозволяє дослідити повний спектр можливих поєднань вхідних параметрів та відповідних їм вихідних значень.

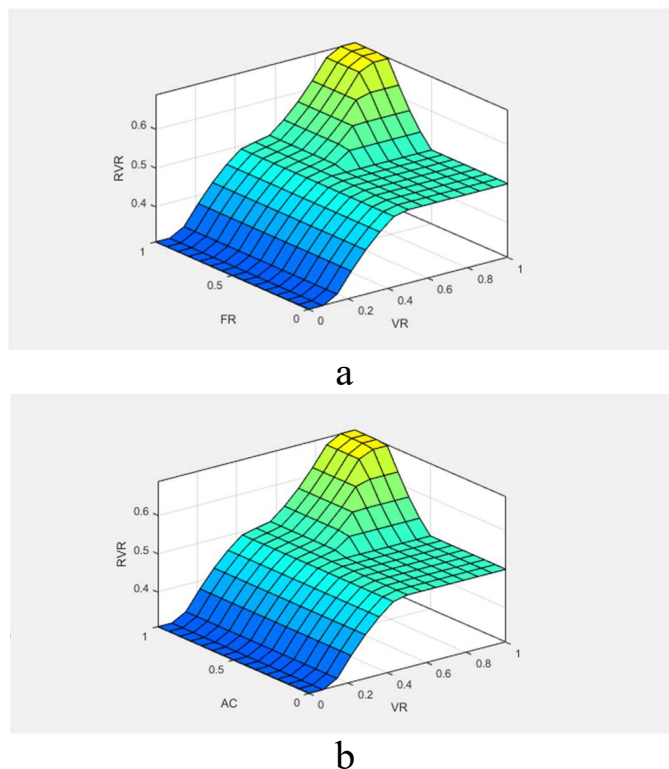


Рис. 2.7. Поверхні виводу нечітко-логічної системи для визначення рівня визнання добровільної відмови (*RVR*):
 а – залежність *RVR* від *VR* та *FR*; б – залежність *RVR* від *VR* та *AC*.

Зокрема, на рис. 2.7а відображено залежність рівня визнання добровільної відмови від ступеня добровільності (*VR*) та остаточності припинення (*FR*) при фіксованому значенні третьої змінної, тоді як на рис. 7б показано вплив ступеня добровільності (*VR*) та рівня усвідомлення можливості доведення правопорушення до кінця (*AC*) на вихідний результат. Така форма подання у вигляді поверхні дозволяє

простежити не лише локальні значення, але й загальну логіку зміни результату в усьому діапазоні $[0; 1]$.

Аналіз поверхонь відгуку дає змогу виявити області, в яких значення RVR є низьким (що відповідає невизнанню добровільної відмови), перехідні зони нечіткості, а також області високих значень, які свідчать про високу ймовірність позитивного рішення. Отже, поверхневі графіки дозволяють інтерпретувати результати моделі не лише як окремі числові значення, а як безперервний простір ухвалення рішень, що є суттєвою перевагою застосування нечіткої логіки для моделювання правового мислення.

Виконане дослідження засвідчило, що формування правового мислення студентів-правників у сучасному цифровому середовищі потребує логіко-методологічного розширення традиційного підходу до викладання дисципліни «логіка». Аналіз наукових джерел показав, що класична бінарна логіка, попри її фундаментальне значення для юридичної освіти, не охоплює повною мірою тієї семантичної, оціночної та градаційної складності, яка реально притаманна правовим нормам і правозастосуванню. Саме тому нечітка логіка може розглядатися не як альтернатива класичній логіці, а як її продуктивне доповнення, здатне адекватніше описувати правові категорії з невизначеними межами, проміжними станами та контекстуальною залежністю.

Внаслідок аналізу Кримінального кодексу України як репрезентативного й методично зручного нормативного матеріалу було виявлено низку правових конструкцій, у яких проявляються семантична, оціночна, градаційна та багатокритеріальна види нечіткості. Це дозволило обґрунтувати доцільність використання категоріального апарату нечіткої логіки для інтерпретації окремих положень кримінального права. На прикладі статті 17 КК України було показано, що правову норму, яка містить вирази «за своєю волею», «остаточне припинення» та «усвідомлювала можливість доведення кримінального правопорушення до кінця», можна формалізувати у вигляді нечітко-логічної моделі з трьома входними змінними (VR , FR , AC) та однією вихідною змінною (RVR).

Побудована нечітко-логічна модель на основі інструментарію *Fuzzy Logic Toolbox* у середовищі *MATLAB* дала змогу не лише формалізувати лінгвістично невизначені елементи правової норми, а й візуалізувати їх через функції належності, базу правил, *Rule Viewer* та поверхні виводу. Отримані результати підтвердили, що навіть у межах однієї норми правовий висновок формується не через жорстку дихотомію «так/ні», а як результат взаємодії кількох взаємопов'язаних факторів. Водночас застосування порогового значення для дефазифікації дозволило

перевести нечіткий висновок у чітке юридичне рішення, що є принципово важливим для правозастосування.

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке правова невизначеність та які причини її виникнення?
2. Чому правова сфера належить до слабкоструктурованих систем?
3. Які особливості правових норм ускладнюють їх формалізацію засобами класичної логіки?
4. Що таке оціночні поняття у праві?
5. Наведіть приклади правових категорій, які мають нечіткий характер.
6. Чому поняття «розумний строк», «істотна шкода» та «значні збитки» вважаються нечіткими?
7. Які переваги надає нечітка логіка під час аналізу правових явищ?
8. Що таке лінгвістична змінна в правовому моделюванні?
9. Як нечіткі множини використовуються для опису правових категорій?
10. Яку роль виконують функції належності у правових дослідженнях?
11. Які етапи побудови нечітко-логічної моделі правового процесу?
12. Що являє собою база правил нечіткої логіки в юридичних дослідженнях?
13. Як формуються правила типу «якщо—то» для аналізу правових ситуацій?
14. У чому полягає процедура нечіткого логічного виведення?
15. Для чого використовується дефазифікація у правових моделях?
16. Які правові задачі можуть бути розв'язані за допомогою нечіткої логіки?
17. Яким чином нечітка логіка може використовуватися для підтримки ухвалення юридичних рішень?
18. Які переваги нечітко-логічних моделей порівняно з традиційними методами правового аналізу?

Розділ 3

НЕЧІТКА ЛОГІКА В АНАЛІЗІ ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СТАНІВ

3.1. Економічна невизначеність як об'єкт нечітко-логічного аналізу

Сучасна економіка функціонує в умовах постійних змін, які супроводжуються значним рівнем *невизначеності*. Глобалізаційні процеси, цифрова трансформація, технологічні інновації, геополітичні конфлікти, фінансові кризи та інші чинники формують складне середовище, в якому ухвалення ефективних управлінських рішень потребує врахування великої кількості взаємопов'язаних факторів. Традиційні економічні моделі часто ґрунтуються на припущенні про повноту інформації та можливість точного кількісного опису процесів. Проте на практиці значна частина економічних явищ характеризується *нечіткістю, неповнотою даних і неможливістю однозначного прогнозування*. Саме тому економічна невизначеність є одним із ключових об'єктів дослідження сучасних методів нечіткого моделювання.

Економічна невизначеність відображає ситуацію, за якої неможливо з достатньою точністю визначити майбутній стан економічної системи або результати ухвалених рішень. Вона виникає внаслідок впливу великої кількості зовнішніх і внутрішніх чинників, поведінка яких не піддається повному контролю або прогнозуванню. Особливістю *економічної невизначеності* є те, що вона може проявлятися як на рівні національної економіки, так і на рівні окремих підприємств, домогосподарств або інвестиційних проєктів. У таких умовах нечітка логіка дозволяє враховувати не лише точні числові показники, але й якісні характеристики економічного середовища, які традиційно складно формалізувати.

Макроекономічна невизначеність пов'язана з функціонуванням економіки держави в цілому. Вона проявляється через складність прогнозування темпів економічного зростання, рівня інфляції, безробіття, валютного курсу, обсягів інвестицій та інших макроекономічних показників. Навіть за наявності значного обсягу статистичної інформації економічна система залишається надзвичайно чутливою до зовнішніх впливів. Політичні рішення, міжнародні конфлікти, зміни на світових ринках, енергетичні кризи або технологічні

прориви можуть суттєво змінювати прогнозовані сценарії розвитку економіки.

Особливо високий рівень *макроекономічної невизначеності* спостерігається в країнах, що перебувають у стані структурних реформ або стикаються з воєнними викликами. У таких умовах навіть традиційні економічні індикатори можуть швидко втрачати свою прогнозну здатність. Наприклад, показники інфляції, бюджетного дефіциту або державного боргу можуть змінюватися під впливом факторів, які складно врахувати в межах класичних економетричних моделей.

На мікроекономічному рівні невизначеність пов'язана з діяльністю окремих підприємств та економічних агентів. Підприємства змушені ухвалювати рішення щодо інвестування, виробництва, ціноутворення, управління персоналом та фінансовими ресурсами в умовах *неповної інформації* про майбутній стан ринку. Поведінка конкурентів, зміна споживчих переваг, коливання цін на ресурси та інші фактори створюють додаткові *ризики* для господарської діяльності.

У процесі оцінювання фінансового стану підприємства також виникають ситуації, коли неможливо однозначно визначити рівень його економічної стійкості або конкурентоспроможності. Наприклад, показник рентабельності може формально відповідати нормативним значенням, але при цьому підприємство може залишатися вразливим до зовнішніх загроз. Саме тому дедалі більшого поширення набувають нечітко-логічні моделі, які дозволяють враховувати не лише числові значення показників, а й експертні оцінки та якісні характеристики діяльності підприємства.

Однією з найважливіших причин застосування нечіткої логіки в економіці є складність оцінювання ринкового середовища. Ринок являє собою динамічну систему, в якій взаємодіють виробники, споживачі, інвестори, фінансові установи та державні органи. Кожен із цих суб'єктів ухвалює рішення на основі власних інтересів, очікувань та доступної інформації, що створює додаткову невизначеність.

У практиці економічного аналізу широко використовуються такі характеристики, як «*висока конкуренція*», «*сприятливий інвестиційний клімат*», «*стабільний ринок*», «*низька платоспроможність населення*», «*значний рівень ризику*» тощо. Подібні поняття мають якісну природу та не можуть бути точно виміряні за допомогою одного показника. Наприклад, оцінка конкурентного середовища залежить одночасно від кількості конкурентів, рівня бар'єрів входу на ринок, інтенсивності конкурентної боротьби, технологічного розвитку галузі та багатьох інших факторів.

Нечітка логіка дозволяє формалізувати такі оцінки шляхом побудови лінгвістичних змінних та функцій належності. Замість жорсткого поділу ринку на «конкурентний» або «неконкурентний» можна визначити ступінь його конкурентності. Аналогічний підхід застосовується до оцінювання інвестиційної привабливості, кредитоспроможності, економічної безпеки та інших складних економічних категорій.

Важливою перевагою нечіткого підходу є можливість інтегрувати експертні знання в процес аналізу ринкового середовища. Досвідчені аналітики часто формулюють свої висновки у вигляді якісних суджень, які складно представити традиційними математичними моделями. Нечітка логіка дозволяє трансформувати такі судження в систему формалізованих правил і використовувати їх для підтримки ухвалення рішень.

Однією з найважливіших особливостей нечітко-логічного аналізу є можливість одночасного використання кількісних та якісних параметрів. Традиційні економічні моделі зазвичай орієнтовані на роботу з кількісними показниками, такими як прибуток, дохід, рівень рентабельності, коефіцієнти ліквідності або продуктивність праці. Проте багато економічних процесів визначаються також факторами, які важко виміряти безпосередньо.

До таких факторів можна віднести якість управління, репутацію підприємства, рівень інноваційності, ступінь довіри інвесторів, організаційну культуру, адаптивність до змін зовнішнього середовища та інші характеристики. Незважаючи на їхню важливість, включення подібних параметрів до традиційних моделей часто є проблематичним через відсутність чітких методів вимірювання.

Нечітка логіка усуває це обмеження шляхом використання лінгвістичних оцінок. Наприклад, рівень інноваційної активності може бути описаний термами «низький», «середній» та «високий», кожному з яких відповідає певна функція належності. Аналогічно можуть оцінюватися рівень фінансової безпеки, конкурентоспроможність або інвестиційна привабливість підприємства.

Поєднання кількісних та якісних параметрів особливо важливе під час побудови інтегральних показників. Наприклад, оцінювання економічної безпеки підприємства може враховувати як фінансові коефіцієнти, так і якісні характеристики зовнішнього середовища. Завдяки цьому формується більш повна та реалістична картина стану об'єкта дослідження.

Отже, *економічна невизначеність* є складним багатогранним явищем, що охоплює як макроекономічні, так і мікроекономічні процеси. Вона проявляється через *нечіткість оцінювання ринкового середовища, складність прогнозування економічних процесів та необхідність одночасного врахування кількісних і якісних характеристик*. У таких умовах нечітка логіка є ефективним інструментом аналізу, який дозволяє формалізувати невизначеність, інтегрувати експертні знання та забезпечувати більш обґрунтоване ухвалення економічних рішень. Її застосування створює методологічне підґрунтя для побудови сучасних моделей оцінювання економічної безпеки, ризиків, конкурентоспроможності та інших складних соціально-економічних категорій.

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягає сутність економічної невизначеності та які чинники зумовлюють її виникнення?
2. Які особливості макроекономічної невизначеності та як вона впливає на розвиток національної економіки?
3. Чим мікроекономічна невизначеність відрізняється від макроекономічної?
4. Чому традиційні економічні моделі не завжди забезпечують адекватний аналіз економічних процесів в умовах невизначеності?
5. Які переваги надає нечітка логіка під час оцінювання ринкового середовища?
6. Як нечітка логіка використовується для формалізації якісних характеристик економічних процесів?
7. Чому оцінювання конкурентного середовища потребує використання нечітко-логічного підходу?
8. Яким чином експертні знання можуть інтегруватися в економічний аналіз за допомогою нечіткої логіки?
9. У чому полягають переваги поєднання кількісних і якісних параметрів у нечітко-логічних моделях?
10. Яке значення має нечітка логіка для оцінювання економічної безпеки, ризиків та конкурентоспроможності суб'єктів господарювання?

3.2. Нечітка логіка в оцінюванні економічних процесів і станів

Сучасні економічні системи функціонують в умовах високої динамічності зовнішнього середовища, посилення глобальної конкуренції, технологічних змін та зростання невизначеності. У таких умовах особливої актуальності набуває проблема адекватного оцінювання економічних процесів і станів, від якого залежить ефективність управлінських рішень як на рівні окремих підприємств, так і на рівні галузей та національної економіки. Традиційні методи економічного аналізу переважно орієнтовані на використання точних кількісних показників, однак реальна практика свідчить про те, що значна частина економічної інформації має нечіткий, неповний або суб'єктивний характер. Саме тому методологія нечіткої логіки дедалі частіше використовується як інструмент оцінювання складних економічних явищ, що характеризуються невизначеністю та багатофакторністю.

Особливістю нечітко-логічного підходу є можливість поєднання кількісних показників із якісними характеристиками, які традиційно складно формалізувати. Завдяки використанню нечітких множин, функцій належності та баз знань експертного типу стає можливим здійснювати комплексне оцінювання фінансової стійкості, економічної безпеки, інвестиційної привабливості, конкурентоспроможності та рівня ризику в умовах неповної інформації.

Одним із найбільш поширених напрямів застосування нечіткої логіки в економіці є оцінювання *фінансової стійкості* та *економічної безпеки* суб'єктів господарювання. Сучасне підприємство функціонує під впливом численних внутрішніх і зовнішніх факторів, які можуть як сприяти його розвитку, так і створювати загрози для стабільного функціонування. При цьому економічна безпека є комплексною характеристикою, яка охоплює фінансові, виробничі, кадрові, інноваційні, інформаційні та ринкові аспекти діяльності.

Традиційні методи оцінювання *економічної безпеки* здебільшого базуються на використанні системи фінансових коефіцієнтів. До таких показників належать *коефіцієнти автономії, фінансової незалежності, ліквідності, рентабельності* та *ділової активності*. Однак самі собою ці показники не завжди дозволяють зробити однозначний висновок щодо рівня безпеки підприємства. Наприклад, один коефіцієнт може свідчити про задовільний фінансовий стан, тоді як інший вказуватиме на наявність потенційних загроз.

Нечітка логіка дозволяє інтегрувати різномірні показники в єдину систему оцінювання. Для кожного індикатора визначаються лінгвістичні значення, наприклад «низький», «середній», «високий» рівень ліквідності або «критичний», «задовільний», «стійкий» фінансовий стан. Після цього формується база правил, яка відображає взаємозв'язок між окремими параметрами та загальним рівнем економічної безпеки.

Використання нечітко-логічних моделей дозволяє отримати інтегральну оцінку, яка враховує як кількісні дані фінансової звітності, так і експертні оцінки факторів зовнішнього середовища. Завдяки цьому підвищується об'єктивність аналізу та забезпечується можливість раннього виявлення загроз економічній безпеці підприємства.

Інвестиційна привабливість є однією з ключових характеристик підприємства, галузі або регіону, яка визначає здатність залучати фінансові ресурси для розвитку. Проте оцінювання інвестиційної привабливості пов'язане з численними труднощами, оскільки на неї впливає широкий спектр факторів, частина яких не піддається точному кількісному вимірюванню.

До традиційних критеріїв оцінювання належать фінансові результати діяльності, рентабельність, рівень платоспроможності, ліквідність активів, динаміка прибутку та ефективність використання капіталу. Водночас інвестори враховують і такі чинники, як якість менеджменту, ділова репутація, інноваційний потенціал, рівень корпоративного управління, стабільність ринкового середовища та перспективи розвитку галузі.

Нечітка логіка забезпечує можливість інтегрувати всі зазначені параметри в межах єдиної моделі. Наприклад, фінансові показники можуть бути подані у вигляді нечітких множин із термінами «низький рівень прибутковості», «середня ліквідність», «висока інвестиційна активність». Одночасно експертні оцінки можуть характеризувати такі аспекти, як перспективність ринку або якість стратегічного управління.

Перевага такого підходу полягає в тому, що інвестиційна привабливість розглядається не як результат окремого показника, а як інтегральна характеристика, сформована на основі сукупності взаємопов'язаних факторів. Це дозволяє отримати більш реалістичну оцінку об'єкта інвестування та знизити ризик ухвалення необґрунтованих рішень.

Особливо актуальним використання нечіткої логіки є для оцінювання інвестиційної привабливості в умовах нестабільної економічної ситуації, коли майбутній розвиток подій важко передбачити за допомогою традиційних статистичних моделей.

Конкурентоспроможність підприємства є складною багатовимірною категорією, яка відображає його здатність успішно функціонувати на ринку, протистояти конкурентам та забезпечувати довгостроковий розвиток. Вона формується під впливом численних факторів, серед яких якості продукції, фінансові ресурси, інноваційний потенціал, кадрове забезпечення, маркетингова діяльність та ефективність управління.

Традиційні методики оцінювання конкурентоспроможності часто ґрунтуються на використанні інтегральних показників або рейтингових систем. Проте проблема полягає в тому, що багато характеристик конкурентоспроможності мають якісний характер і не можуть бути точно виміряні. Наприклад, складно формалізувати такі поняття, як репутація бренду, лояльність споживачів або рівень інноваційної культури підприємства.

Нечітка логіка дозволяє враховувати подібні характеристики шляхом використання лінгвістичних змінних. Для кожного показника можуть бути сформовані нечіткі множини, що відповідають рівням «низька конкурентоспроможність», «середня конкурентоспроможність» та «висока конкурентоспроможність». Після цього за допомогою системи нечітких правил здійснюється інтегральне оцінювання конкурентних позицій підприємства.

Особливу цінність такий підхід має в умовах високої ринкової невизначеності, коли кількісні показники не здатні повністю відобразити реальний стан підприємства. Нечітко-логічні моделі дозволяють враховувати експертний досвід та якісні характеристики, забезпечуючи більш повне уявлення про конкурентні переваги та слабкі сторони суб'єкта господарювання.

Управління ризиками є невід'ємною складовою сучасної економічної діяльності. Будь-яке управлінське рішення супроводжується певним рівнем невизначеності, а отже, й ризику. Особливо актуальною ця проблема є для інвестиційної діяльності, фінансового менеджменту, стратегічного планування та забезпечення економічної безпеки.

Традиційні методи оцінювання ризику здебільшого базуються на теорії ймовірностей та статистичних даних. Однак на практиці часто виникають ситуації, коли необхідна інформація є *неповною, застарілою або суперечливою*. Крім того, багато ризиків мають якісний характер і не можуть бути безпосередньо виражені через статистичні показники.

Нечітка логіка створює ефективний інструментарій для роботи в таких умовах. Вона дозволяє подавати ризики у вигляді лінгвістичних категорій, таких як «низький ризик», «помірний ризик», «високий ризик» або «критичний ризик». Кожній із цих категорій відповідає певна функція належності, яка відображає ступінь прояву ризикової ситуації.

У межах нечіткої моделі можуть одночасно враховуватися фінансові, виробничі, ринкові та зовнішні ризики. Наприклад, якщо рівень фінансової стійкості є низьким, ринкова конкуренція високою, а інвестиційна активність недостатньою, система нечіткого виведення може сформувати інтегральну оцінку ризику як високу або критичну.

Особливістю нечітко-логічного підходу є його здатність працювати за умов відсутності повної статистичної бази. Це робить його особливо корисним для аналізу нових або швидкозмінних економічних процесів, де класичні статистичні методи не забезпечують достатньої точності результатів.

Отже, нечітка логіка є ефективним інструментом оцінювання економічних процесів і станів в умовах невизначеності. Вона забезпечує можливість комплексного аналізу фінансової стійкості та економічної безпеки, оцінювання інвестиційної привабливості, визначення рівня конкурентоспроможності та моделювання ризиків за неповної інформації. Поєднання кількісних показників із якісними характеристиками дозволяє формувати більш обґрунтовані управлінські рішення та підвищувати ефективність функціонування економічних систем у сучасному нестабільному середовищі.

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягає сутність економічної невизначеності та які чинники зумовлюють її виникнення?
2. Які особливості макроекономічної невизначеності та як вона впливає на розвиток національної економіки?
3. Чим мікроекономічна невизначеність відрізняється від макроекономічної?
4. Чому традиційні економічні моделі не завжди забезпечують адекватний аналіз економічних процесів в умовах невизначеності?
5. Які переваги надає нечітка логіка під час оцінювання ринкового середовища?
6. Як нечітка логіка використовується для формалізації якісних характеристик економічних процесів?
7. Чому оцінювання конкурентного середовища потребує використання нечітко-логічного підходу?
8. Яким чином експертні знання можуть інтегруватися в економічний аналіз за допомогою нечіткої логіки?
9. У чому полягають переваги поєднання кількісних і якісних параметрів у нечітко-логічних моделях?
10. Яке значення має нечітка логіка для оцінювання економічної безпеки, ризиків та конкурентоспроможності суб'єктів господарювання?

3.3. Приклад реалізації нечітко-логічної моделі оцінювання економічного ризику

Оцінювання ризиків економічної діяльності інноваційних підприємств в умовах високої невизначеності, технологічної мінливості та нестабільного ринкового попиту є важливою передумовою збереження їх фінансової стійкості, інвестиційної привабливості та довгострокової конкурентоспроможності. Традиційні методи ризик-оцінювання, що переважно ґрунтуються на жорстких кількісних критеріях, зокрема детермінованих коефіцієнтах, порогових нормативах і класичних скорингових моделях, не завжди дозволяють урахувати суб'єктивні експертні судження, якісні сигнали, неповноту інформації, нечіткість даних та нелінійні взаємозв'язки між показниками. Унаслідок цього управлінські рішення часто ухвалюються на основі неповної або фрагментарної інформації, що знижує їх точність, своєчасність і практичну цінність у динамічному бізнес-середовищі.

Аналіз наукових підходів до інтегрального оцінювання ризиків свідчить про наявність двох основних напрямів досліджень. Перший напрям охоплює класичні інтегральні індекси, побудовані на основі нормованих фінансових та операційних показників. Другий напрям пов'язаний із використанням нечітко-логічних моделей, які дають змогу працювати з неповними, неоднозначними та якісно вираженими даними. У промисловому секторі методологічні засади інтегрування показників розкрито в монографії К. Д. Семенової та К. І. Тарасової [26]; для страхового ринку інтегральний підхід до оцінювання ризиків запропоновано К. Г. Гриценком [27]; для банківської системи відповідний підхід деталізовано Н. Р. Швець та А. А. Юшкалюк [28]. Практичні огляди та прикладні кейси для підприємств подано у тезах В. Г. М'ячина й А. В. Димитрюк [29], а також у дослідженні впливу ліквідності у фармацевтичному секторі, виконаному В. Г. М'ячином і В. Ю. Митрофановим [30]. Зазначені праці водночас окреслюють можливості та межі застосування суто детермінованих схем ризик-оцінювання.

Другий науковий напрям формують дослідження, присвячені використанню нечіткої логіки для формалізації експертних суджень і відображення складних нелінійних взаємозв'язків через лінгвістичні змінні, функції належності та бази правил *Mamdani/Sugeno*. Концептуальні положення застосування нечіткої логіки в інноваційній діяльності обґрунтовано Н. О. Каверіною [31]. Прикладні нечітко-логічні

моделі запропоновано для нафтогазових підприємств у працях І. Фадєєвої та О. Гринюк [32], для процесів технічного обслуговування – у дослідженнях М. Gallab зі співавторами [33], для автомобільних систем – у роботах F. Merola, C. Bernardeschi та G. Lami [34], для критичної інфраструктури – у працях Р. Мурасова, А. Нікітіна та І. Мещерякова [35]. У сфері банківського ризику апарат нечіткої логіки застосовано О. К. Примеровою та Г. А. Кисельовою [36]. На інституційному рівні питання калібрування порогів, процедур ризик-менеджменту та системного реагування на загрози узагальнено в аналітичній доповіді О. О. Резнікової, К. Є. Войтовського та А. В. Лепіхова [37].

Отже, наявна теоретико-методична база створює передумови для розроблення інтегрального індексу оцінювання ризиків економічної діяльності інноваційних підприємств – *Integral Risk Assessment Index (IRAI)*. Такий індекс доцільно формувати на гібридній методологічній основі: з одного боку, використовувати апробовані фінансові та операційні коефіцієнти, характерні для класичних інтегральних підходів, а з іншого – здійснювати їх агрегування із застосуванням інструментарію нечіткої логіки. Це дозволяє узгоджувати лінгвістичні терми, порогові значення та експертні правила з рекомендаціями системного ризик-менеджменту. Очікуваним результатом такого підходу є формування більш об'єктивного, гнучкого та відтворюваного інструменту оцінювання, здатного коректно працювати з невизначеністю, неповнотою даних і якісними характеристиками, а також забезпечувати підтримку стратегічних управлінських рішень в інноваційно активному середовищі.

У науковій і прикладній літературі з аналізу ризиків економічної діяльності підприємств представлено широкий спектр методів, кожен з яких має власні переваги та обмеження залежно від мети дослідження, обсягу доступної інформації, рівня деталізації даних і галузевої специфіки. До таких методів належать підходи, що ґрунтуються на статистичних розподілах, методи оцінки вартості ризику (*VaR*), сценарний аналіз, дерева рішень, багатокритеріальний аналіз, експертно-рейтингові методи, а також інструменти, побудовані на основі теорії нечітких множин. Водночас проблема формування уніфікованого інструменту, здатного одночасно враховувати множинність джерел ризику, інформаційну невизначеність і специфіку інноваційної діяльності підприємств, залишається відкритою.

Проблема вибору оптимального підходу до оцінювання ризиків інноваційних підприємств, як і питання формалізації самого поняття інтегрального ризику, залишається дискусійною. Серед наявних

варіантів особливе місце займає інтегральна оцінка, що передбачає узагальнення окремих ризик-факторів у єдиний узагальнюючий індикатор. Поєднання інтегрального підходу з сучасними інструментами нечіткої логіки, на нашу думку, відкриває нові можливості для ефективного врахування як кількісних, так і якісних параметрів, що визначають рівень загроз для економічної стабільності інноваційного підприємства. Така комбінація забезпечує адекватне відображення складної взаємодії між ризиками, дозволяє працювати з неповною та розмитою інформацією, а також сприяє більш точному і гнучкому аналізу у контексті мінливого ринкового середовища.

Для оцінки *інтегрального індексу оцінки ризиків (IRAI)* вибрано три ключові індикатори: коефіцієнт фінансової автономії (*Equity Ratio*), коефіцієнт поточної ліквідності (*Current Ratio*) та рентабельність продажів (*Return on Sales*). Такий набір збалансовує структуру капіталу, короткострокову платоспроможність і операційну результативність, спирається на офіційну звітність і легко нормується до шкали [0 1] для подальшої агрегації.

Оптимальність добору й нормативні інтервали підтверджені у фахових джерелах: Коваль О. А. та Литус П. Р. [38] обґрунтовують орієнтир *Equity Ratio* $\approx 0,50\text{--}0,60$ як умову фінансової стійкості; Чайка Т. Ю., Лошакова С. Є. та Водоріз Я. С. [39] деталізують методику розрахунку *Current Ratio* та поріг $\approx 1,5\text{--}2,5$ з урахуванням особливостей підприємства; Чайка Т. Ю., Мартинова В. В. та Ісіченко Є. Ю. [40] систематизують показники *Return on Sales* та рекомендують зіставлення з галузевими бенчмарками (для сервісних галузей орієнтовно 5–10 %). Зазначені межі покладено в основу лінгвістичних термів і функцій належності, що забезпечує коректну та прозору побудову *IRAI*.

На рис. 3.1 зображено загальну будову конструктора нечітко-логічної експертної системи як перетворення даних всередині самої системи. Як видно з рис. 3.1, для нечітко-логічного підходу з метою визначення інтегрального показника *Індекс інтегральної оцінки ризиків (Integral Risk Assessment Index (IRAI))* нами вибрано три вхідні показники, що впливають на інтегральний показник, а саме: *коефіцієнт автономії (Equity Ratio (ER))* (1-й показник), *коефіцієнт поточної ліквідності (Current Ratio (CR))* (2-й показник) та *рентабельність продажів (Return on Sales (ROS))* (3-й показник).

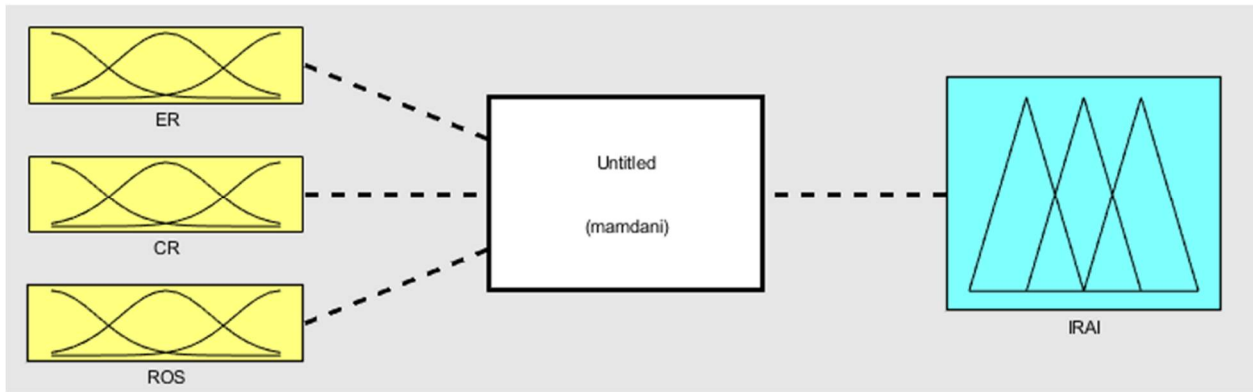


Рис. 3.1. Загальна будова конструктора нечітко-логічної системи визначення інтегрального показника оцінки ризику підприємства

Наступний етап побудови нечіткої експертної системи заснований на виборі функції належності. Нечітка модель досить ускладнює модель, якщо вона заснована на значній кількості вхідних змінних, через що кількість вхідних змінних вимагає обґрунтованого оптимального значення.

Для побудови комплексної нечітко-логічної нами вибрано дзвонувату функцію належності, яка візуально має вигляд симетричної кривої і нагадує форму дзвону. Означена функція задається формулою

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}, \quad (3.1)$$

параметри якої інтерпретуються таким чином: a – коефіцієнт концентрації функції належності; b – коефіцієнт кривини функції належності; c – координата максимуму функції належності [23].

Наступним етапом побудови нечіткої моделі є ідентифікація нечітко-логічних правил. Враховуючи, що кількість вхідних даних моделі (вхідних змінних) дорівнює ω , а кожен вхід має z нечітких множин (функцій належності), то кількість правил r нечіткої логіки при однаковій кількості функцій належності можна визначити наступною формулою:

$$r = z^{\omega}. \quad (3.2)$$

Моделювання інтегрального ступеня концентрації ринку було виконано в програмному забезпеченні *FuzzyLogic Toolbox* середовища *Matlab* (версія *R2021A*) фірми *MathWorks*, що вплинуло на налаштування і наведення дзвонуватої функції належності. Налаштування функції виглядає так: $\mu(x) = gbellmf(x, [a \ b \ c])$, де x – вхідна змінна, a , b і c – вищезгадані параметри (формула (1)). Таке формалізоване наведення функції використовується для точного налаштування параметрів нечіткої моделі відповідно до специфіки вхідних даних.

На наступних рис. 3.2–3.5 наведено атрибути та функції належності для трьох вхідних змінних (ER (1), CR (2) та ROS (3)) і однієї вихідної змінної ($IRAI$). На рис. 3.2 представлено вхідну змінну ER («Коефіцієнт автономії» або *Equity Ratio* (ER), що має два атрибути (функції належності): *Optimal* – відповідає оптимальним значенням показника ER (1) та *Non-optimal* – не відповідає оптимальним значенням показника ER (2). Дану функцію вибираємо дзвонуватою та визначаємо у діапазоні $[0\ 1]$, де числа від 0 до 1 позначають коефіцієнт автономії у частках одиниці. Функція *Optimal* – оптимальний рівень ER – має параметри $[0.55\ -14\ 0]$, функція *Non-optimal* – неоптимальний рівень ER – має параметри $[0.45\ 8\ 1]$.

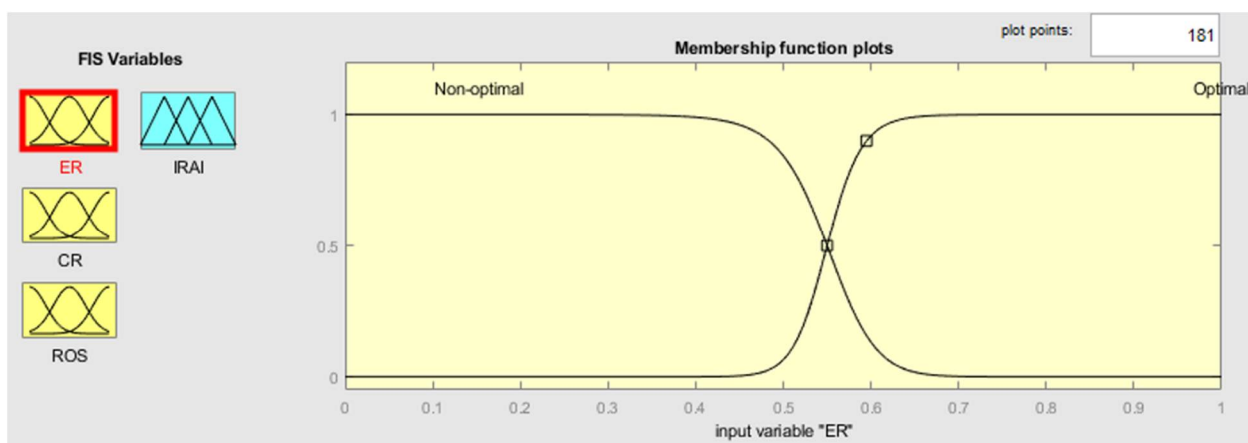


Рис. 3.2. Функція належності для вхідної лінгвістичної змінної ER («Коефіцієнт автономії» або *Equity Ratio*).

На рис. 3.3 зображено вхідну змінну CR («Коефіцієнт поточної ліквідності» або *Current Ratio*), що має два атрибути (функції належності): *Optimal* – відповідає оптимальному значенню показника CR (1) та *Non-optimal* – не відповідає оптимальному значенню показника CR (2). Ця функція дзвонувата, її визначаємо у діапазоні $[0\ 11]$, де числа від 0 до 11 позначають коефіцієнт поточної ліквідності в частках від одиниці. Функція *Optimal* – оптимальний рівень показника CR – має параметри $[1\ 2\ 2]$, функція *Non-optimal* – не оптимальний рівень показника CR – має параметри $[1\ -3\ 2]$.

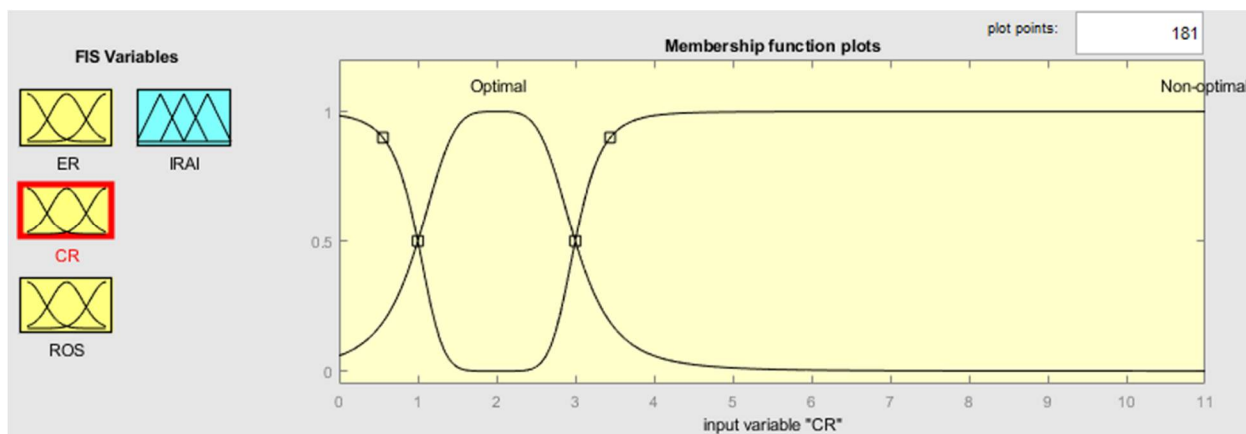


Рис. 3.4. Функція належності для вхідної лінгвістичної змінної CR («Коефіцієнт поточної ліквідності» або Current Ratio).

На рис. 3.4 зображено вхідну змінну *ROS* («Рентабельність продажів» або *Return on Sales*), що має три атрибути (функції належності): *Low Risk* – відповідає низькому значенню показника *ROS* (1), *Medium* – відповідає середньому значенню показника *ROS* (2), *High* – відповідає високому (тобто нормативному) значенню показника *ROS* (3). Ця функція дзвонувата, її визначаємо у діапазоні [0 30], де числа від 0 до 30 позначають коефіцієнт поточної ліквідності у відсотках. Функція *Low* – низький рівень показника *ROS* – має параметри [5 2.5 0], *Medium* – середній рівень показника *ROS* – має параметри [5 2.5 10] та функція *High* – високий рівень показника *ROS* – має параметри [15 8 30].

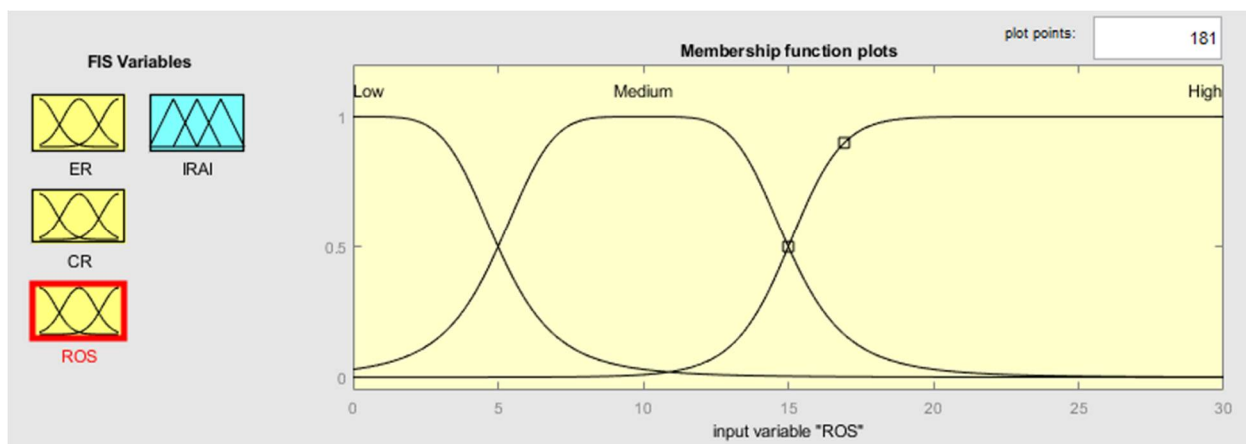


Рис. 3.4. Функція належності для вхідної лінгвістичної змінної ROS («Рентабельність продажів» або *Return on Sales*).

На рис. 3.5 зображено вихідну змінну – комплексний показник *IRAI* («Індекс інтегральної оцінки ризиків» або *Integral Risk Assessment Index*), який має три атрибути (функції належності): *Low Risk* – відповідає низькому значенню показника *IRAI* і має параметри [0.33 5 0], *Medium Risk* – відповідає середньому значенню показника *IRAI* і має параметри [0.165 2.5 0.5], *High Risk* – відповідає високому значенню показника *IRAI* і має параметри [0.33 5 1]. Ця функція є дзвонуватою за формою і має область визначення [0 1], де числа від 0 до 1 позначають *Індекс інтегральної оцінки ризиків* у частках від одиниці.

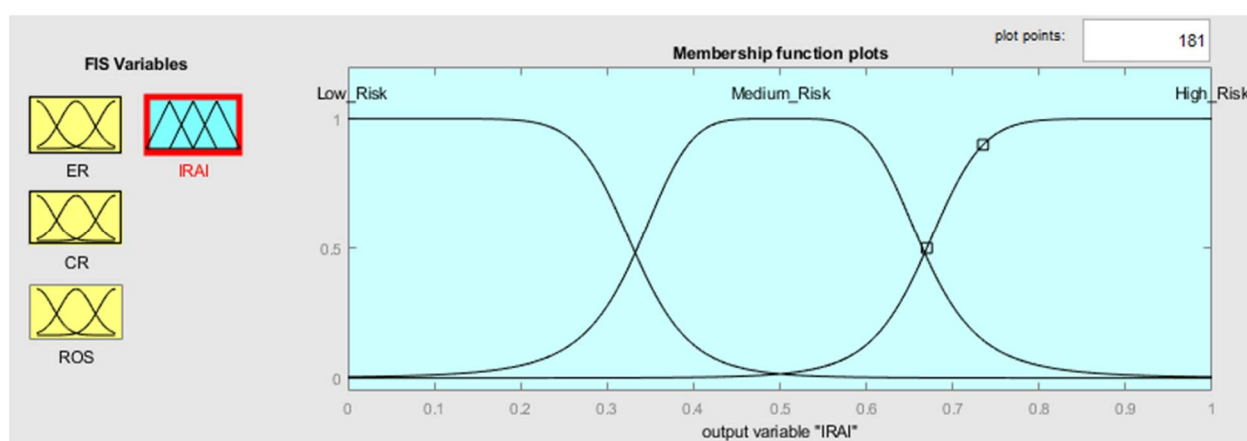


Рис. 3.5. Функція належності для вихідної лінгвістичної змінної *IRAI*. («Індекс інтегральної оцінки ризиків» або *Integral Risk Assessment Index*).

На підставі опису трьох вхідних і однієї вихідної змінної визначаємо 12 нечітких правил для висновку вихідної змінної. У нашому випадку загальна кількість усіх можливих комбінацій вхідних термів дорівнює $r = 2^1 \times 2^1 \times 3^1 = 12$ для забезпечення повноти моделі.

Правила нечіткої логіки подамо так.

Правило 1: If (*ER is Non-optimal*) and (*CR is Non-optimal*) and (*ROS is Low*) then (*IRAI is High Risk*).

Правило 2: If (*ER is Non-optimal*) and (*CR is Non-optimal*) and (*ROS is Medium*) then (*IRAI is High Risk*).

Правило 3: If (*ER is Non-optimal*) and (*CR is Non-optimal*) and (*ROS is High*) then (*IRAI is Medium Risk*).

Правило 4: If (*ER is Non-optimal*) and (*CR is Optimal*) and (*ROS is Low*) then (*IRAI is High Risk*).

Правило 5: If (*ER is Non-optimal*) and (*CR is Optimal*) and (*ROS is Medium*) then (*IRAI is Medium Risk*).

Правило 6: If (ER is Non-optimal) and (CR is Optimal) and (ROS is High) then (IRAI is Medium Risk).

Правило 7: If (ER is Optimal) and (CR is Non-optimal) and (ROS is Low) then (IRAI is Medium Risk).

Правило 8: If (ER is Optimal) and (CR is Non-optimal) and (ROS is Medium) then (IRAI is Medium Risk).

Правило 9: If (ER is Optimal) and (CR is Non-optimal) and (ROS is High) then (IRAI is Low Risk).

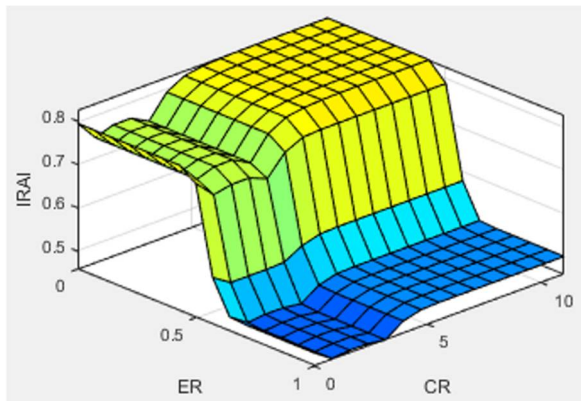
Правило 10: If (ER is Optimal) and (CR is Optimal) and (ROS is Low) then (IRAI is Medium Risk).

Правило 11: If (ER is Optimal) and (CR is Optimal) and (ROS is Medium) then (IRAI is Low Risk).

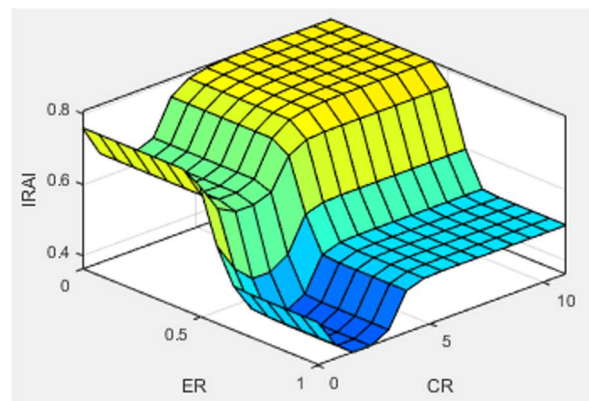
Правило 12: If (ER is Optimal) and (CR is Optimal) and (ROS is High) then (IRAI is Low Risk).

Побудована модель нечіткого висновку дозволяє оцінити інтегральний показник *Індекс інтегральної оцінки ризиків IRAI (Integral Risk Assessment Index)* в залежності від трьох змінних, а саме: від змінної *ER*, яка є *Коефіцієнтом автономії (Equity Ratio)*, від змінної *CR*, яка є *Коефіцієнтом поточної ліквідності (Current Ratio)* та від змінної *ROS*, що являє собою *Рентабельність продажів (Return on Sales)*.

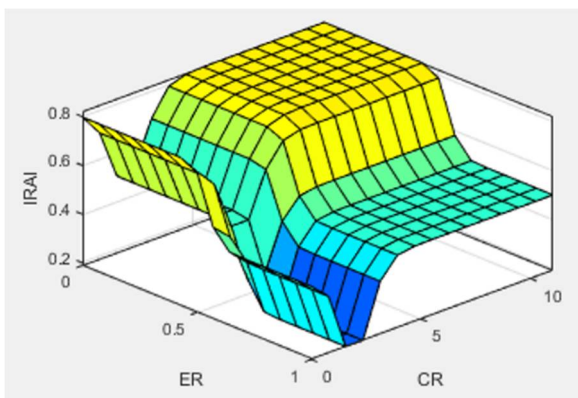
Залежність вихідної змінної *IRAI*, яка є *Індексом інтегральної оцінки ризиків*, від всього спектра вхідних змінних *ER* та *CR* при рівнях фіксованих значеннях $ROS = 3 \%$, $ROS = 5 \%$, $ROS = 10 \%$ та $ROS = 15 \%$ являє собою нескінченність значень *IRAI*, поданих у вигляді поверхні відгуку, побудованої за допомогою візуалізатора *Surface Viewer* (рис. 3.6 а, б, в, г).



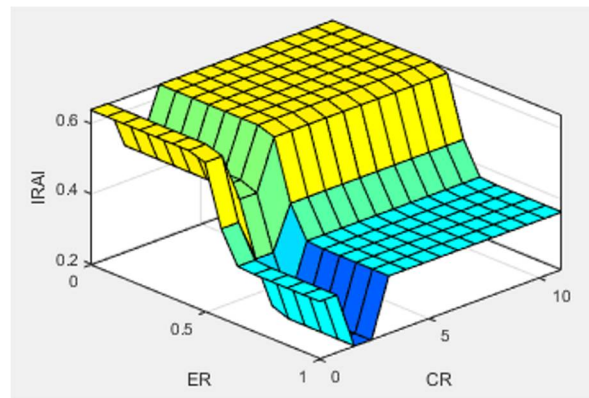
а



б



в



г

Рис. 3.6. Залежність вихідної змінної IRAI, що є інтегральним показником Індекс інтегральної оцінки ризиків, від вхідних змінних ER і CR при рівнях фіксованих значень ROS = 3 % (а), ROS = 5 % (б), ROS = 10 % (в) та ROS = 15 % (г)

Візуалізація поверхні «вхід-вихід» дозволяє визначити, що вихідний показник *IRAI*, який є *Індексом інтегральної оцінки ризиків*, досягає свого максимуму при оптимальних значеннях двох вхідних параметрів *ER* (*Коефіцієнт автономії (Equity Ratio)*) і *CR* (*Коефіцієнтом поточної ліквідності (Current Ratio)*) та при високих значеннях параметра *ROS* (*Рентабельність продажів (Return on Sales)*).

Виконане дослідження підтверджує ефективність нечітко-логічного підходу до формування інтегрального індексу оцінки ризиків (*IRAI*) для інноваційних підприємств: метод природно поєднує кількісні й якісні параметри та коректно працює з невизначеністю й неповнотою даних. Розроблена модель ґрунтується на трьох перевірених індикаторах – коефіцієнті фінансової автономії (*ER*), коефіцієнті поточної ліквідності (*CR*) та рентабельності продажів (*ROS*) – які агрегуються в єдиний

показник ризику. Використання дзвоноподібних функцій належності (для *ER* і *CR* – два терми *Optimal/Non-optimal*, для *ROS* – *Low/Medium/High*) та 12 правил *Mamdani* забезпечує прозору логіку висновку; візуалізація поверхонь «вхід–вихід» демонструє очікувану реакцію системи: за оптимальних *ER* і *CR* та вищих значень *ROS* класифікація переходить у зону *Low Risk*. Такий гібрид інтегрального та нечіткого підходів підвищує об'єктивність, відтворюваність і гнучкість оцінювання, створює інструмент раннього попередження та є придатним для управлінських рішень у динамічному середовищі. Практичні орієнтири для калібрування термів: *ER* ~ 0,50–0,60; *CR* ~ 1,5–2,5; *ROS* – не нижче галузевих орієнтирів ($\approx 5\text{--}10\%$).

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягають переваги нечітко-логічного підходу до оцінювання ризиків економічної діяльності інноваційних підприємств?
2. Чому традиційні методи оцінювання ризиків не завжди забезпечують достатню точність в умовах невизначеності?
3. Які вхідні показники використано для побудови інтегрального індексу оцінки ризиків IRAI?
4. Яке економічне значення мають коефіцієнт автономії (*ER*), коефіцієнт поточної ліквідності (*CR*) та рентабельність продажів (*ROS*) у системі оцінювання ризиків?
5. Чому для побудови моделі було використано дзвонуваті функції належності?
6. Яким чином визначається кількість нечітко-логічних правил у моделі IRAI?
7. Яку роль відіграє база нечітких правил Мамдані у формуванні інтегрального показника ризику?
8. Як змінюється значення інтегрального індексу оцінки ризиків залежно від значень показників *ER*, *CR* та *ROS*?
9. Які можливості надає використання Surface Viewer для аналізу результатів нечітко-логічного моделювання?
10. Які перспективи подальшого розвитку та вдосконалення моделі інтегральної оцінки ризиків інноваційних підприємств?

3.4. Приклад реалізації нечітко-логічної моделі оцінювання конкурентоспроможності підприємства

Оцінювання конкурентоспроможності підприємств за умов нестабільного та динамічного ринкового середовища є важливою передумовою забезпечення їх сталого розвитку, адаптивності та посилення конкурентних позицій. Традиційні підходи до такого оцінювання, які переважно ґрунтуються на використанні кількісних показників, не завжди дають змогу повною мірою врахувати вплив якісних чинників, експертних суджень і багатофакторної природи конкурентного середовища. У цьому контексті нечітко-логічний підхід є доцільним інструментом, оскільки дозволяє поєднувати кількісні та якісні параметри, а також переводити експертні оцінки у формалізовану модель аналізу. Завдяки цьому формується інтегральний показник конкурентоспроможності, який відображає взаємозв'язок між окремими індикаторами, їхню значущість та сукупний вплив на ринкове становище підприємства. Така методологія може бути використана як аналітична основа для стратегічного планування, обґрунтування управлінських рішень і підвищення стійкості підприємства в умовах ринкової турбулентності.

Аналіз наукових джерел свідчить про наявність різних підходів до оцінювання конкурентоспроможності підприємств, серед яких важливе місце посідають як традиційні економіко-математичні методи, так і сучасні інтелектуальні інструменти, зокрема методи нечіткої логіки. Довбня та Красіна (2023) здійснили комплексне оцінювання конкурентоспроможності підприємств кондитерської галузі й обґрунтували напрями її підвищення через поєднання показників виробничої ефективності та ринкової активності [41]. Богацька (2020) дослідила специфіку оцінювання конкурентних позицій підприємства, акцентувавши увагу на необхідності використання адаптивних методичних підходів в умовах змінного ринкового середовища [42]. Жалдак та Мамаджанов (2022) запропонували класифікацію методів і напрямів оцінювання конкурентоспроможності, виокремивши індикатори, найбільш чутливі до ринкових коливань [3].

Дослідження Брижан та Чевганової (2015) присвячене порівнянню різних методик оцінювання, у тому числі бального, інтегрального та порівняльного аналізу, що дозволяє визначати сильні та слабкі сторони підходів залежно від галузевої специфіки [44]. М'ячин та Алейнікова (2018) виокремили сучасні та перспективні методи оцінки

конкурентоспроможності інноваційних підприємств, підкресливши значення технологічної новизни та рівня інноваційної активності [45]. У роботі Мурадян та співавторів (2023) розглянуто використання методів нечіткої логіки для оптимізації вибору постачальників, що має безпосереднє відношення до підвищення конкурентоспроможності через ефективність ланцюгів постачання [46].

У 2013 році у статті Азарової А. та Житкевич О. був представлений методичний підхід до визначення рівня конкурентоспроможності українських підприємств на основі математичних методів і використання апарату нечіткої логіки для обробки комплексних показників та отримання інтегральної оцінки [47]. Зрештою Пархуць та Огданська (2025) акцентували на цифровій трансформації як ключовому факторі підтримки та розвитку конкурентоспроможності, запропонувавши моделі її реалізації у підприємницькому середовищі [48].

Отже, проаналізовані джерела демонструють еволюцію наукових поглядів – від класичних методів оцінювання до сучасних цифрових та інтелектуальних технологій, серед яких нечітка логіка є перспективним інструментом інтегральної оцінки конкурентоспроможності в умовах високої динаміки ринку. Проте досі не існує універсального підходу, який би повністю відповідав потребам усіх підприємств незалежно від особливостей їхньої діяльності та впливу зовнішнього середовища.

Питання вибору оптимального методу, а також універсального показника та чинників конкурентоспроможності, залишається відкритим і потребує індивідуального підходу для кожної компанії. Серед вказаних варіантів особливе місце має інтегральний метод, який дозволяє отримати узагальнену кількісну оцінку рівня конкурентоспроможності. Якщо поєднати цей метод із сучасними інструментами, зокрема апаратом нечіткої логіки [5–7], то, на нашу думку, можна досягти оптимального результату, оскільки така комбінація дає змогу врахувати багатofакторність впливів, невизначеність середовища та суб'єктивність експертних оцінок, забезпечуючи більш гнучкий і точний аналіз.

Для оцінки інтегрального показника конкурентоспроможності нами було вибрано такі ключові індикатори: частка ринку, рентабельність продажів та коефіцієнт поточної ліквідності. Оптимальність їх використання, а також нормативні межі зазначених показників обґрунтовані у наукових роботах [49–51] відповідно: частка ринку – у дослідженні Бондаренка А. Ф. та Гребіня В. В., присвяченому сучасним підходам до визначення конкурентоспроможності банку [49]; рентабельність продажів – у роботі Чайки Т. Ю., Мартинової В. В. та Ісієнко Є. Ю., де розглянуто систему коефіцієнтів рентабельності

підприємств сфери гостинності [40]; коефіцієнт поточної ліквідності – у публікації Чайки Т. Ю., Лошакової С. Є. та Водоріз Я. С., яка висвітлює розрахунок коефіцієнтів ліквідності з урахуванням фінансових і виробничих особливостей підприємства [39].

На рис. 3.7 зображено загальну будову конструктора нечітко-логічної експертної системи як перетворення даних всередині самої системи. Як видно з рис. 3.7, для нечітко-логічного підходу з метою визначення інтегрального показника *Індекс конкурентоспроможності підприємства (Competitiveness Index (CI))* нами вибрано три вхідні показники, що впливають на інтегральний показник, а саме: *частка ринку (Market Share (MS))* (1-й показник), *рентабельність продажів (Return on Sales (ROS))* (2-й показник) та *коефіцієнт поточної ліквідності (Current Ratio (CR))* (3-й показник).

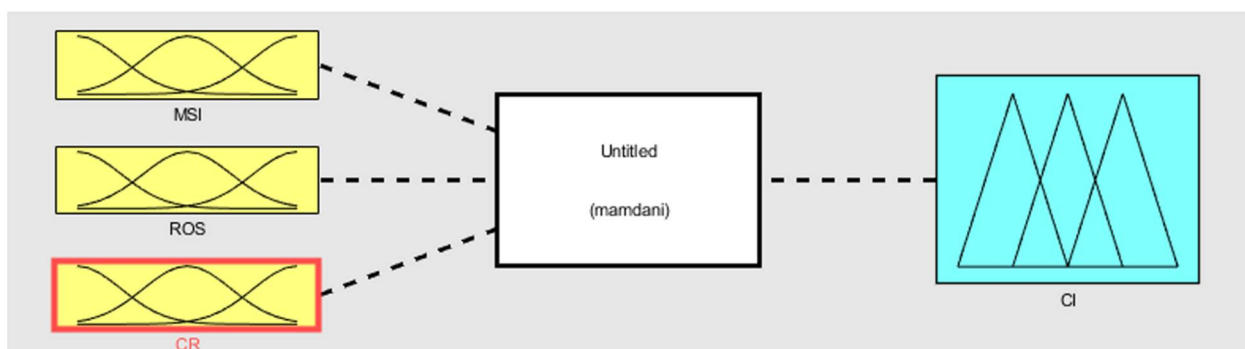


Рис. 3.7. Загальна будова конструктора нечітко-логічної системи визначення інтегрального показника конкурентоспроможності підприємства

Наступний етап побудови нечіткої експертної системи заснований на виборі функції належності. Нечітка модель досить ускладнює модель, якщо вона заснована на значній кількості вхідних змінних, через що кількість вхідних змінних вимагає обґрунтованого оптимального значення.

Для побудови комплексної нечітко-логічної нами вибрано дзвонувату функцію належності, яка має візуально має вигляд симетричної кривої і нагадує форму дзвону. Означена функція задається формулою

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}, \quad (3.3)$$

параметри якої інтерпретуються так: a – коефіцієнт концентрації функції належності; b – коефіцієнт кривини функції належності; c – координата максимуму функції належності (Pegat, 2001) [23].

Наступним етапом побудови нечіткої моделі є ідентифікація нечітко-логічних правил. Враховуючи, що кількість вхідних даних моделі (вхідних змінних) дорівнює ω , а кожен вхід має z нечітких множин (функцій належності), то кількість правил нечіткої логіки при однаковій функцій належності можна визначити такою формулою:

$$r = z^{\omega}. \quad (3.4)$$

Моделювання інтегрального ступеня концентрації ринку було виконано в програмному забезпеченні *FuzzyLogic Toolbox* середовища *Matlab* (версія *R2021A*) фірми *MathWorks*, що вплинуло на настройку і представлення дзвонуватої функції належності. Налаштування функції виглядає так: $\mu(x) = gbellmf(x, [a \ b \ c])$, де x – вхідна змінна, a , b і c – вищезгадані параметри (формула (1)). Таке формалізоване представлення функції використовується для точного налаштування параметрів нечіткої моделі відповідно до специфіки економічних даних.

На рис. 3.8–3.11 зображено атрибути та функції належності для трьох вхідних змінних (MS , ROS , CR) і однієї вихідної змінної (CI). На рис. 3.8 наведено вхідну змінну MS («Частка ринку» або *Market Share* (MS)), що має три атрибути (функції належності): *Low* – відповідає низькому значенню показника MS , *Medium* – відповідає середньому значенню показника MS , *High* – відповідає високому значенню показника MS . Цю функцію вибираємо дзвонуватою та визначаємо у діапазоні $[0 \ 100]$, де числа від 0 до 100 позначають частку ринку підприємства у %. Функція *Low* – низький рівень MS – має параметри $[3 \ 3 \ 0]$, функція *Medium* – середній рівень MS – має параметри $[3.5 \ 3 \ 6.5]$, функція *High* – високий рівень MS – має параметри $[50 \ 40 \ 60]$.

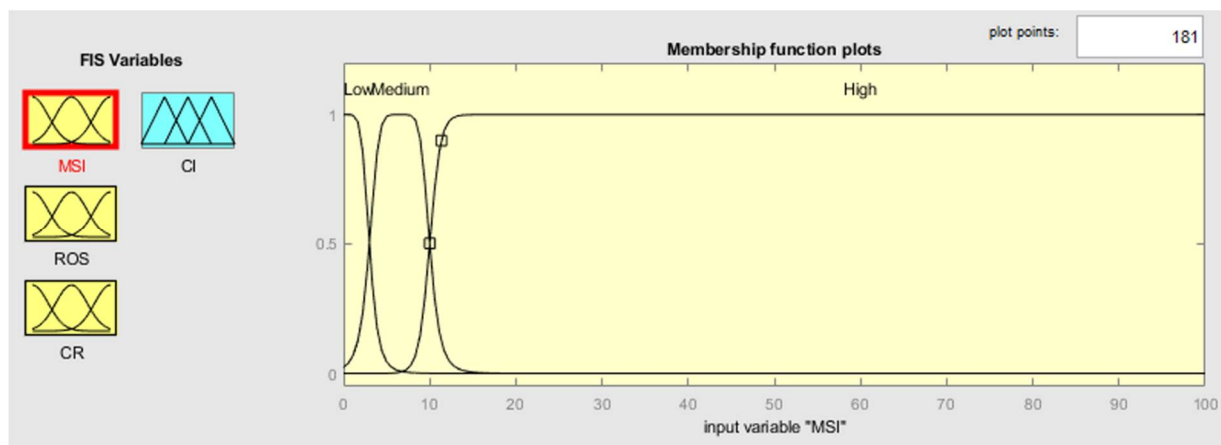


Рис. 3.8. Функція належності для вхідної лінгвістичної змінної MS . («Частка ринку» або *Market Share*)

На рис. 3.9 зображено вхідну змінну *ROS* («Рентабельність продажів» або *Return on Sales*), що має три атрибути (функції належності): *Low* – відповідає низькому значенню показника *ROS*, *Medium* – відповідає середньому значенню показника *ROS*, *High* – відповідає високому значенню показника *ROS*. Ця функція дзвонувата, її визначаємо у діапазоні $[0\ 30]$, де числа від 0 до 30 позначають рентабельність продажів у %. Функція *Low* – низький рівень показника *ROS* – має параметри $[3\ 3\ 0]$, функція *Medium* – середній рівень показника *ROS* – має параметри $[6\ 6\ 9]$, функція *High* – високий рівень показника *ROS* – має параметри $[9\ 9\ 24]$.

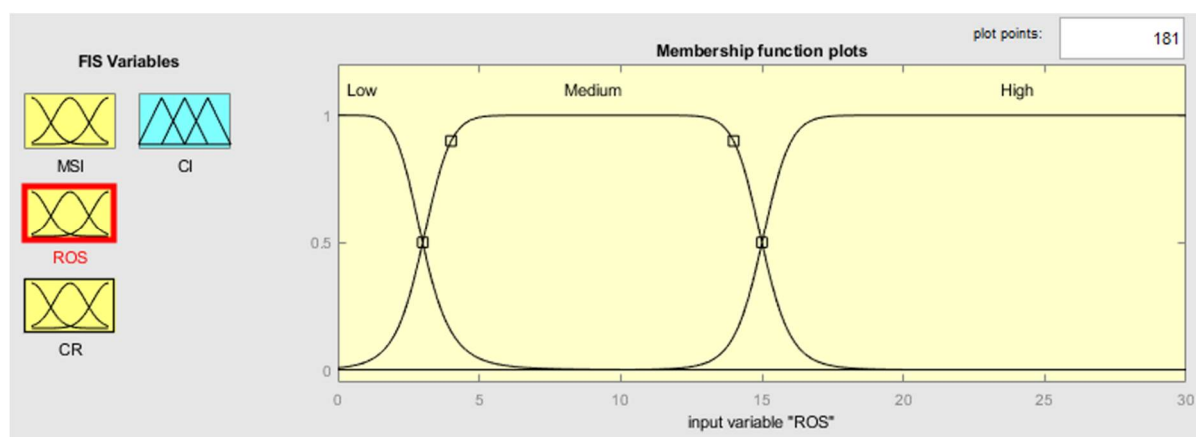


Рис. 3.9. Функція належності для вхідної лінгвістичної змінної *ROS* («Рентабельність продажів» або *Return on Sales*)

На рис. 3.10 зображено вхідну змінну *CR* («Коефіцієнт поточної ліквідності» або *Current Ratio*), що має три атрибути (функції належності): *Low* – відповідає низькому значенню показника *CR*, *Medium* – відповідає середньому значенню показника *CR*, *High* – відповідає високому (тобто нормативному) значенню показника *CR*. Ця функція дзвонувата, її визначаємо у діапазоні $[0\ 3]$, де числа від 0 до 3 позначають коефіцієнт поточної ліквідності у частках одиниці. Функція *Low* – низький рівень показника *CR* – має параметри $[1\ 5\ 0]$, функція *High* – високий рівень показника *CR* – має параметри $[2\ 12\ 3]$.

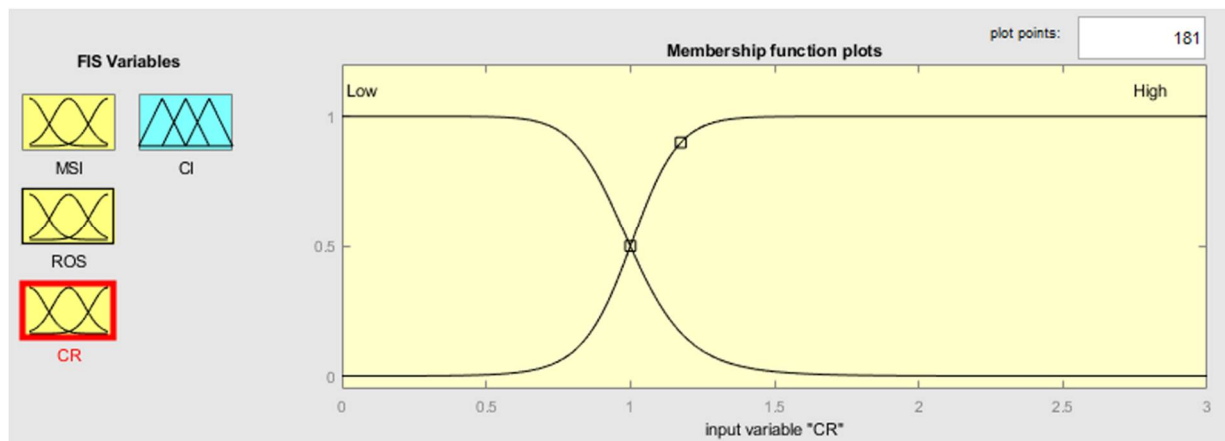


Рис. 3.10. Функція належності для вхідної лінгвістичної змінної CR («Коефіцієнт поточної ліквідності» або Current Ratio)

На рис. 3.11 зображено вихідну змінну – комплексний показник *CI* («Індекс конкурентоспроможності» або *Competitiveness Index*), який має три атрибути (функції належності): *Low* – відповідає низькому значенню показника *CR* і має параметри [40 6 0], *Medium* – відповідає середньому значенню показника *CR* і має параметри [20 4 60], *High* – відповідає високому значенню показника *CR* і має параметри [20 4 100]. Ця функція є дзвонуватою за формою і має область визначення [0 100], де числами від 0 до 100 позначено *Індекс конкурентоспроможності* у відсотках.

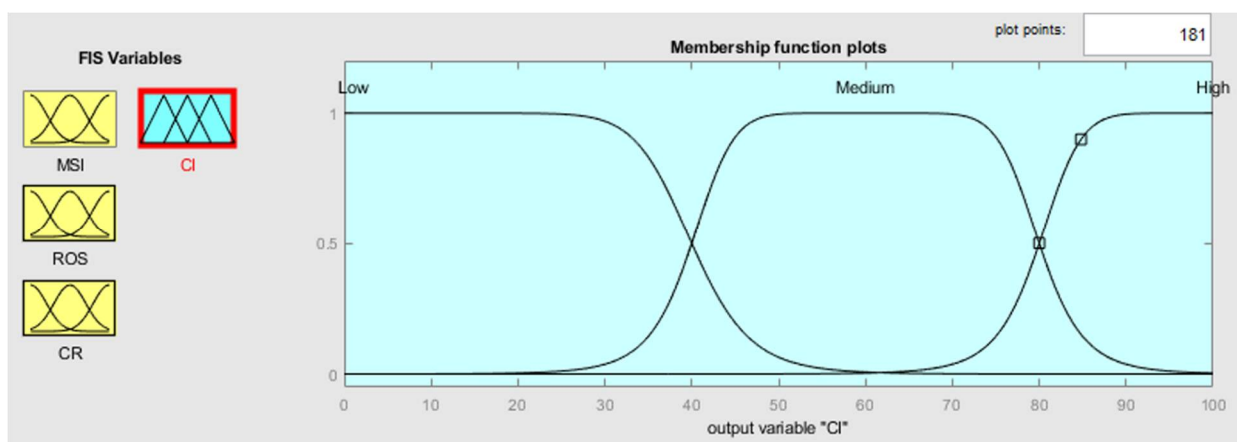


Рис. 3.11. Функція належності для вихідної лінгвістичної змінної CR («Індекс конкурентоспроможності» або Competitiveness Index)

На підставі опису трьох вхідних і однієї вихідної змінної визначаємо 18 нечітких правил для висновку вихідної змінної. У нашому випадку загальна кількість усіх можливих комбінацій вхідних термів дорівнює $r = 3^1 \times 3^1 \times 2^1 = 18$ для забезпечення повноти моделі.

Правила нечіткої логіки подамо так.

Правило 1: If (MS is Low) and (ROS is Low) and (CR is Low) then (CI is Low).

Правило 2: If (MS is Low) and (ROS is Low) and (CR is High) then (CI is Medium).

Правило 3: If (MS is Low) and (ROS is Medium) and (CR is Low) then (CI is Low).

Правило 4: If (MS is Low) and (ROS is Medium) and (CR is High) then (CI is Medium).

Правило 5: If (MS is Low) and (ROS is High) and (CR is Low) then (CI is Medium).

Правило 6: If (MS is Low) and (ROS is High) and (CR is High) then (CI is Medium).

Правило 7: If (MS is Medium) and (ROS is Low) and (CR is Low) then (CI is Low).

Правило 8: If (MS is Medium) and (ROS is Low) and (CR is High) then (CI is Medium).

Правило 9: If (MS is Medium) and (ROS is Medium) and (CR is Low) then (CI is Medium).

Правило 10: If (MS is Medium) and (ROS is Medium) and (CR is High) then (CI is Medium).

Правило 11: If (MS is Medium) and (ROS is High) and (CR is Low) then (CI is Medium).

Правило 12: If (MS is Medium) and (ROS is High) and (CR is High) then (CI is High).

Правило 13: If (MS is High) and (ROS is Low) and (CR is Low) then (CI is Medium);

Правило 14: If (MS is High) and (ROS is Low) and (CR is High) then (CI is Medium).

Правило 15: If (MS is High) and (ROS is Middle) and (CR is Low) then (CI is Medium).

Правило 16: If (MS is High) and (ROS is Middle) and (CR is High) then (CI is High).

Правило 17: If (MS is High) and (ROS is High) and (CR is Low) then (CI is High).

Правило 18: If (MS is High) and (ROS is High) and (CR is High) then (CI is High).

Побудована модель нечіткого висновку дозволяє оцінити інтегральний показник *Індекс конкурентоспроможності CI (Competitiveness Index)* залежно від трьох змінних, а саме: від змінної *MS*,

що являє собою *Частку ринку (Market Share)*, від змінної *ROS*, що являє собою *Рентабельність продажів (Return on Sales)*, та від змінної *CR*, яка є *Коефіцієнтом поточної ліквідності (Current Ratio)*.

Залежність вихідної змінної *CI*, яка є *Індексом конкурентоспроможності*, від всього спектра входних змінних *ROS* та *CR* при різних рівнях фіксованих значень $MS=1\%$ та $MS=5\%$ являє собою нескінченність значень *CI*, поданих у вигляді поверхні відгуку, побудованої за допомогою візуалізатора *Surface Viewer* (рис. 3.12, *а* та 3.12, *б*).

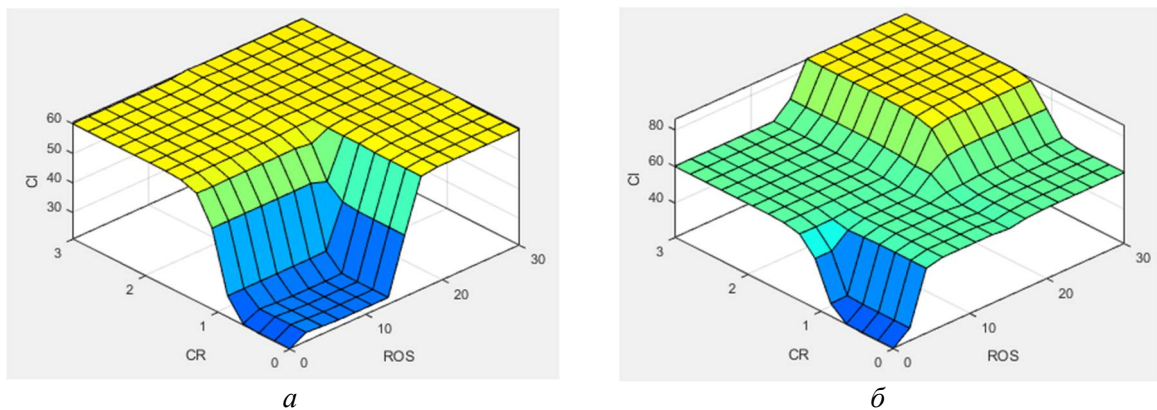


Рис. 3.12. Залежність вихідної змінної *CI*, що є інтегральним показником Індекс конкурентоспроможності, від входних змінних *ROS* і *CRI* та при рівнях фіксованих значень $MS=1\%$ (*а*) та $MS=5\%$ (*б*)

Візуалізація поверхні «вхід-вихід» дозволяє визначити, що вихідний показник *CI*, який є Індексом конкурентоспроможності, досягає свого максимуму при максимальних значеннях входних параметрів комплексної моделі: *MS* (Частка ринку (Market Share)), *ROS* (Рентабельність продажів (Return on Sales)) та *CR* (Коефіцієнт поточної ліквідності (Current Ratio)).

Дослідження підтвердило, що використання нечітко-логічного підходу для формування інтегрального показника конкурентоспроможності підприємств є ефективним інструментом для поєднання кількісних і якісних параметрів оцінювання, що дозволяє враховувати багатофакторність впливів і невизначеність ринкового середовища. Розроблена модель, побудована на основі трьох ключових показників – частки ринку, рентабельності продажів і коефіцієнта поточної ліквідності – забезпечує комплексну та гнучку оцінку, придатну для застосування в різних галузях. Поєднання інтегрального методу з інструментами нечіткої логіки дозволяє не лише підвищити об'єктивність результатів, але й адаптувати модель до змін зовнішніх умов, що особливо важливо в умовах високої динаміки ринку. Запропонований підхід може слугувати основою для ухвалення стратегічних управлінських рішень,

підвищення конкурентоспроможності підприємств і зміцнення їхніх ринкових позицій, а його подальший розвиток передбачає розширення переліку вхідних параметрів та впровадження автоматизованих систем аналізу.

ПИТАННЯ ДО САМОКОНТРОЛЮ

1. У чому полягає сутність нечітко-логічного підходу до оцінювання конкурентоспроможності підприємства?
2. Чому традиційні методи оцінювання конкурентоспроможності не завжди достатні в умовах невизначеності ринкового середовища?
3. Які три вхідні показники використано для побудови моделі індексу конкурентоспроможності підприємства?
4. Яке значення мають частка ринку, рентабельність продажів і коефіцієнт поточної ліквідності для оцінювання конкурентоспроможності?
5. Чому для побудови моделі було вибрано дзвонувату функцію належності?
6. Як визначається кількість нечітко-логічних правил у моделі конкурентоспроможності?
7. Яку роль відіграють правила типу «If–Then» у формуванні інтегрального показника конкурентоспроможності?
8. Як інтерпретується вихідна змінна CI – індекс конкурентоспроможності підприємства?
9. Що показує поверхня відгуку, побудована за допомогою Surface Viewer?
10. Які переваги має запропонована нечітко-логічна модель для стратегічного управління підприємством?

ДОДАТКИ

Додаток 1

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

А

Агрегація результатів – етап нечіткого логічного виведення, на якому результати спрацювання окремих правил об'єднуються в єдину результуючу нечітку множину. У практичних моделях агрегація дає змогу врахувати одночасний вплив кількох умов, індикаторів або експертних суджень на підсумкову оцінку.

Активізація правила – процедура визначення міри спрацювання нечіткого правила залежно від ступенів належності вхідних змінних. Вона показує, наскільки конкретне правило є релевантним для поточної ситуації аналізу.

Алгоритм нечіткого виведення – послідовність формалізованих дій, що охоплює фазифікацію вхідних даних, застосування бази правил, агрегацію результатів і дефазифікацію. Такий алгоритм забезпечує перехід від нечітко описаних умов до конкретного аналітичного висновку або управлінського рішення.

Альтернативний сценарій – можливий варіант розвитку подій, який враховується під час аналізу невизначеності. У нечітко-логічному моделюванні альтернативні сценарії можуть мати різні ступені ймовірності, бажаності або ризиковості.

Аналіз невизначеності – дослідження ситуацій, у яких інформація про об'єкт, процес або наслідки рішення є неповною, неточною, суперечливою чи лінгвістично розмитою. У межах нечіткої логіки такий аналіз спрямований на формалізацію проміжних станів між повною визначеністю і повною невідомістю.

Аналіз правової ситуації – системне дослідження юридично значущих фактів, умов, норм і можливих наслідків їх застосування. У нечітко-логічному підході такий аналіз дозволяє враховувати не лише формальну наявність ознак, а й ступінь їх прояву.

Б

Багатоваріантність рішень – наявність кількох можливих напрямів дії або управлінських відповідей на одну ситуацію. Нечітка логіка дозволяє порівнювати такі варіанти за системою лінгвістичних і кількісних критеріїв.

Багатокритеріальне оцінювання – підхід до аналізу, за якого об'єкт оцінюється одночасно за кількома критеріями. Нечітка логіка підвищує гнучкість такого оцінювання, оскільки дозволяє поєднувати кількісні показники з якісними експертними судженнями.

База знань – сукупність формалізованих експертних тверджень, правил, термів і зв'язків між змінними, що використовуються в нечіткій системі. База знань відображає практичний досвід фахівців і забезпечує логіку переходу від вхідних умов до результату.

База правил – набір правил типу «якщо – то», за допомогою яких задається зв'язок між вхідними лінгвістичними змінними та вихідною оцінкою. У моделях права, економіки та управління база правил дозволяє формалізувати причинно-наслідкові залежності в умовах невизначеності.

Бінарна логіка – логічна система, у якій кожне висловлювання може мати лише два значення: істина або хиба. Вона є основою класичної логіки, але має обмеження під час аналізу явищ із нечіткими межами.

В

Ваговий коефіцієнт – числовий параметр, що відображає відносну важливість критерію в інтегральній оцінці. У нечітких моделях ваги можуть визначатися експертно або за допомогою спеціальних методів багатокритеріального аналізу.

Визначеність – стан, за якого параметри об'єкта, умови функціонування системи та наслідки рішення можуть бути встановлені однозначно. В умовах визначеності застосування класичних математичних і логічних моделей є найбільш природним.

Вихідна змінна – результативний показник нечіткої моделі, що формується після застосування правил і дефазифікації. Прикладами вихідних змінних є рівень ризику, рівень економічної безпеки, ступінь правової визначеності або інвестиційна привабливість.

Внутрішня загроза – негативний фактор, що формується всередині системи та може погіршувати її стійкість, безпеку або результативність. Для підприємства такими загрозами можуть бути дефіцит ресурсів, низька ліквідність, слабе управління або кадрові проблеми.

Вхідна змінна – показник або характеристика, що надходить до нечіткої моделі для подальшої обробки. Вхідні змінні можуть бути кількісними,

наприклад рівень ліквідності, або якісними, наприклад рівень правової визначеності.

Г

Гаусова функція належності – плавна функція належності, що має форму симетричної дзвоноподібної кривої. Вона використовується тоді, коли потрібно забезпечити м'який перехід між рівнями оцінки та уникнути різких меж між нечіткими категоріями.

Гранула інформації – узагальнена одиниця подання знань або даних, що відображає інформацію не через точне число, а через певний інтервал, лінгвістичну категорію або нечітку множину. Гранульоване подання є близьким до природного людського мислення.

Гранульованість інформації – властивість інформації подаватися у вигляді укрупнених смислових блоків або лінгвістичних категорій. У нечіткій логіці гранульованість дозволяє працювати з описами на кшталт «низький», «середній», «високий» без втрати їх аналітичного змісту.

Д

Детермінована модель – модель, в якій за однакових вхідних умов завжди формується однаковий результат. Такі моделі ефективні за умов визначеності, але можуть бути недостатніми для опису слабкоструктурованих процесів.

Дефазифікація – процедура перетворення нечіткого результату в конкретне числове значення або підсумкову оцінку. Дефазифікація є завершальним етапом нечіткого виведення і робить результат придатним для практичного використання.

Дзвонувата функція належності – гнучка функція належності, що має плавну криву дзвоноподібної форми та дозволяє регулювати ширину й форму переходів. Вона використовується для моделювання понять із поступовими межами та складною структурою належності.

Диз'юнкція – логічна операція «або», яка в класичній логіці є істинною, якщо істинним є хоча б одне з висловлювань. У нечіткій логіці диз'юнкція часто реалізується через максимальне значення ступенів належності.

Динамічність середовища – властивість зовнішнього або внутрішнього середовища швидко змінюватися під впливом нових обставин. Висока динамічність підвищує рівень невизначеності та ускладнює застосування статичних моделей.

Діаграма Венна – графічний спосіб подання співвідношень між множинами. У навчальному аналізі вона використовується для пояснення логічних операцій, зокрема заперечення, кон'юнкції, диз'юнкції, імплікації та еквіваленції.

Е

Еквіваленція – логічна операція, що відображає рівнозначність двох висловлювань. У нечіткій логіці еквівалентність може тлумачитися як ступінь подібності або близькості між значеннями належності двох нечітких множин.

Економічна безпека – стан захищеності економічної системи від внутрішніх і зовнішніх загроз, за якого забезпечується її стабільне функціонування та розвиток. У нечітко-логічному аналізі економічна безпека може оцінюватися через сукупність фінансових, виробничих, кадрових, інноваційних і ринкових індикаторів.

Економічна невизначеність – неповнота, нестабільність або неоднозначність інформації щодо економічних процесів, ринкової поведінки суб'єктів, майбутніх результатів і впливу зовнішнього середовища. Вона проявляється як на макроекономічному, так і на мікроекономічному рівні.

Економічний процес – сукупність взаємопов'язаних дій, змін і результатів у сфері виробництва, розподілу, обміну та споживання ресурсів. У нечітких моделях економічний процес розглядається як система, що може містити як кількісні, так і якісні параметри.

Економічний ризик – можливість відхилення фактичних результатів економічної діяльності від очікуваних, що може призвести до втрат або зниження ефективності. Нечітка логіка дозволяє оцінювати ризик навіть тоді, коли ймовірності та наслідки неможливо визначити точно.

Економічний індикатор – кількісний або якісний показник, що характеризує стан, динаміку або результат економічного процесу. У нечіткій моделі індикатор може бути перетворений на лінгвістичну змінну.

Експертна оцінка – судження фахівця щодо стану, рівня або перспектив розвитку певного об'єкта. У нечітко-логічних моделях експертні оцінки можуть бути подані через лінгвістичні терми та функції належності.

Експертна система – інтелектуальна система, що використовує базу знань і правила виведення для розв'язання складних задач. Нечіткі експертні системи особливо корисні в тих випадках, коли рішення ґрунтується на неповній інформації та якісних судженнях.

Експертне правило – формалізоване судження фахівця, подане у вигляді логічної конструкції «якщо – то». Такі правила дозволяють відобразити досвід експертів у системі нечіткого виведення.

З

Заперечення – логічна операція, яка змінює значення висловлювання на протилежне. У нечіткій логіці заперечення зазвичай визначається як різниця між одиницею та ступенем належності елемента до певної множини.

Змінна моделі – показник або характеристика, що використовується в процесі моделювання. У нечітких системах змінні можуть мати не лише числові, а й лінгвістичні значення.

Зовнішня загроза – фактор середовища, що перебуває поза межами об'єкта управління, але може впливати на його стан. До зовнішніх загроз належать ринкові коливання, політична нестабільність, зміни законодавства та макроекономічні шоки.

I

Імовірність – кількісна міра можливості настання певної події. На відміну від нечіткості, імовірність стосується випадковості події, тоді як нечіткість стосується розмитості меж самого поняття.

Імплікація – логічна операція виду «якщо А, то В», яка відображає умовно-наслідковий зв'язок між висловлюваннями. У нечітких системах імплікація використовується для побудови правил виведення.

Інвестиційна привабливість – комплексна характеристика підприємства, галузі або регіону з погляду доцільності вкладення капіталу. У нечіткій логіці вона може оцінюватися через фінансові показники, якість управління, ринкові перспективи та рівень ризику.

Індикатор стану – показник, який використовується для оцінювання поточного рівня розвитку, безпеки, ризику або ефективності системи. У нечіткому аналізі індикатор стану часто має терми «низький», «середній», «високий».

Інтегральна оцінка – узагальнений показник, що поєднує кілька окремих критеріїв в один підсумковий результат. Нечітка логіка дозволяє формувати інтегральні оцінки на основі різнорідних кількісних і якісних параметрів.

Інформаційна асиметрія – ситуація, за якої різні учасники економічного, правового або управлінського процесу володіють неоднаковим обсягом інформації. Вона посилює невизначеність і може впливати на якість ухвалених рішень.

К

Класична логіка – логічна система, що ґрунтується на принципі двозначності та допускає лише два значення істинності: 0 і 1. Вона ефективна для чітко структурованих задач, але має обмеження при аналізі нечітких понять.

Конкурентоспроможність – здатність суб'єкта господарювання ефективно діяти на ринку, протистояти конкурентам і забезпечувати стійкий розвиток. У нечітко-логічному моделюванні конкурентоспроможність може

оцінюватися через фінансові, маркетингові, інноваційні та управлінські показники.

Кон'юнкція – логічна операція «і», яка є істинною лише за одночасної істинності всіх складових висловлювань. У нечіткій логіці кон'юнкція часто реалізується через мінімальне значення ступенів належності.

Критерій оцінювання – ознака або показник, за яким визначається стан, якість чи рівень розвитку об'єкта. У нечітких моделях критерії можуть бути представлені як лінгвістичні змінні з відповідними термами.

Критична межа – граничне значення показника, перевищення або недосягнення якого свідчить про перехід системи до небезпечного, нестійкого або небажаного стану. У нечітких моделях критична межа може задаватися не жорстко, а через зону поступового переходу.

Л

Лексична невизначеність – невизначеність, пов'язана з нечіткістю змісту понять і меж їх застосування. Вона виникає у випадках, коли терміни на кшталт «значний», «достатній», «розумний» або «високий» потребують контекстного тлумачення.

Логічна операція – формальна дія над висловлюваннями, що дозволяє утворювати складні твердження з простих. До основних логічних операцій належать заперечення, кон'юнкція, диз'юнкція, імплікація, еквіваленція та суворі диз'юнкція.

Ліквідність – здатність активів швидко перетворюватися на кошти без істотної втрати вартості. У фінансовому аналізі ліквідність є важливим індикатором платоспроможності та фінансової стійкості підприємства.

Лінгвістична змінна – змінна, значеннями якої є слова або словосполучення природної мови. Наприклад, змінна «рівень ризику» може мати терми «низький», «середній», «високий» і «критичний».

М

Макроекономічна невизначеність – невизначеність, що виникає на рівні національної економіки та пов'язана з інфляцією, валютним курсом, безробіттям, інвестиціями, бюджетною політикою та зовнішніми шоками.

Метод Мамдані – поширений підхід до нечіткого логічного виведення, який використовує правила типу «якщо – то» та операції над функціями належності. Метод Мамдані часто застосовується в експертних системах і системах підтримки ухвалення рішень.

Модель нечіткого виведення – формалізована система, яка перетворює нечіткі вхідні дані на підсумковий висновок за допомогою бази правил, функцій належності та процедур дефазифікації.

Мікроекономічна невизначеність – невизначеність, що виникає на рівні підприємств, домогосподарств або окремих ринкових суб'єктів. Вона пов'язана з попитом, конкуренцією, витратами, поведінкою споживачів і доступністю ресурсів.

Н

Належність елемента – ступінь, з яким певний елемент відповідає заданій множині або поняттю. У класичній множині належність є бінарною, а в нечіткій множині вона задається значенням від 0 до 1.

Невизначеність – стан неповноти, неточності, неоднозначності або розмитості інформації про об'єкт, процес чи наслідки рішення. У нечіткій логіці невизначеність не ігнорується, а перетворюється на формалізований об'єкт аналізу.

Нечітка логіка - логічна система, що допускає проміжні ступені істинності між 0 і 1. Вона використовується для аналізу складних, слабкоструктурованих і лінгвістично описаних процесів.

Нечітка множина – множина, елементи якої можуть належати їй із різним ступенем. Кожному елементу нечіткої множини відповідає значення функції належності в інтервалі від 0 до 1.

Нечітка оцінка – результат аналізу, який подається не одним жорстким значенням, а через ступінь належності до певних якісних категорій. Наприклад, рівень ризику може бути одночасно частково «середнім» і частково «високим».

Нечітке виведення – процес отримання висновку на основі нечітких вхідних даних і правил. Він дає змогу формалізувати експертні знання та застосовувати їх для підтримки ухвалення рішень.

Нечітке правило – правило типу «якщо – то», в якому умови та наслідки описуються нечіткими поняттями. Наприклад: якщо рівень ризику високий, а фінансова стійкість низька, то рівень економічної безпеки є критичним.

Нормалізація показників – перетворення різнорідних показників до порівнюваної шкали. У нечітко-логічному моделюванні нормалізація полегшує поєднання фінансових, економічних, правових і соціальних параметрів.

О

Оптимізація рішення – пошук найкращого варіанта дії за заданими критеріями та обмеженнями. У нечітких системах оптимізація може враховувати не лише точні числові цілі, а й якісні пріоритети та експертні оцінки.

Оціночне поняття – поняття, зміст якого залежить від конкретного контексту та потребує інтерпретації. У праві до таких понять належать «істотна шкода», «розумний строк», «значні збитки», «достатні підстави».

П

Платоспроможність – здатність суб'єкта господарювання своєчасно виконувати фінансові зобов'язання. У нечітких моделях платоспроможність може оцінюватися за рівнями «низька», «достатня», «висока».

Порогове значення – умовна межа, після досягнення якої змінюється інтерпретація показника або ухвалюється певне рішення. У нечіткій логіці поріг часто замінюється плавною функцією належності.

Правова невизначеність – неоднозначність змісту правових норм, понять, процедур або практики їх застосування. Вона може виникати через колізії, прогалини, оціночні категорії та різні підходи до тлумачення.

Правова норма – загальнообов'язкове правило поведінки, встановлене або санкціоноване державою. У контексті нечіткої логіки правові норми можуть аналізуватися як конструкції, що містять чіткі та оціночні елементи.

Правозастосування – практична діяльність компетентних органів або посадових осіб щодо реалізації норм права в конкретних життєвих ситуаціях. Нечітка логіка може допомагати аналізувати ситуації, де норма містить оціночні поняття.

Принцип несумісності Заде – положення, згідно з яким зі зростанням складності системи зменшується можливість одночасно забезпечити високу точність і змістовність її опису. Цей принцип обґрунтовує доцільність використання нечітких моделей для складних систем.

Прогнозування – процес передбачення майбутнього стану системи на основі наявної інформації, моделей і експертних суджень. Нечітка логіка використовується тоді, коли прогноз пов'язаний із неповними даними та якісними оцінками.

Р

Рейтингове оцінювання – метод упорядкування об'єктів за певною системою критеріїв. Нечітко-логічний підхід дозволяє формувати рейтинги за умов, коли частина показників є якісною або не має чітких меж.

Ризик – можливість настання небажаного результату або відхилення фактичного стану від очікуваного. На відміну від невизначеності загалом, ризик зазвичай передбачає можливість оцінити ймовірність або наслідки подій.

Ринкова динаміка – зміни попиту, пропозиції, цін, конкуренції та поведінки учасників ринку в часі. Вона є одним із джерел економічної невизначеності та потребує гнучкого аналітичного інструментарію.

Ринкове середовище – сукупність умов, суб'єктів і факторів, які впливають на діяльність підприємства на ринку. Його оцінювання часто є нечітким, оскільки включає конкуренцію, попит, очікування споживачів та інвестиційний клімат.

С

Система нечіткого виведення – модель, що включає фазифікацію, базу правил, механізм виведення, агрегацію та дефазифікацію. Така система використовується для аналізу складних процесів і підтримки ухвалення рішень.

Слабкоструктурований процес – процес, який неможливо повністю описати точними формулами через неповноту інформації, складність зв'язків і вплив суб'єктивних факторів. Нечітка логіка є ефективним інструментом аналізу таких процесів.

Соціальна невизначеність – невизначеність, що виникає через складність людської поведінки, соціальних установок і реакцій груп населення. Вона часто описується лінгвістичними категоріями, такими як «довіра», «напруженість», «підтримка».

Стохастична невизначеність – невизначеність, пов'язана з випадковістю настання чітко визначеної події. Вона описується за допомогою ймовірності та відрізняється від лексичної невизначеності, де нечітким є саме поняття.

Ступінь належності – числова міра відповідності елемента нечіткій множині. Ступінь належності визначається функцією належності та може набувати будь-якого значення від 0 до 1.

Ступінь істинності – числове значення в інтервалі від 0 до 1, яке показує, наскільки твердження є істинним у нечіткій логіці. Значення 0 означає повну хибність, 1 – повну істинність, а проміжні значення – часткову істинність.

Сувора диз'юнкція – логічна операція XOR, яка є істинною лише тоді, коли істинним є одне з двох висловлювань, але не обидва одночасно. У нечіткій логіці вона може застосовуватися для оцінювання відмінності між множинами.

Сценарний аналіз – метод дослідження можливих варіантів розвитку подій. У поєднанні з нечіткою логікою сценарний аналіз дозволяє враховувати не лише альтернативи, а й ступінь їх відповідності певним умовам.

Т

Теорія нечітких множин – науковий напрям, започаткований Лотфі Заде, який досліджує множини з частковою належністю елементів. Вона є математичною основою нечіткої логіки та нечіткого моделювання.

Терм нечіткої змінної – окреме лінгвістичне значення змінної, наприклад «низький», «середній», «високий». Кожному терму відповідає власна функція належності.

Трапецієподібна функція належності – функція належності, яка має інтервал максимального значення та плавні зони зростання і спадання. Вона зручна для опису понять, що мають певну зону повної відповідності.

Трикутна функція належності – найпростіша функція належності, що задається трьома параметрами та має форму трикутника. Вона часто використовується в експертних системах завдяки простоті побудови й інтерпретації.

У

Універсальна множина – повна множина всіх можливих значень або елементів, у межах якої визначається конкретна нечітка множина. Вона задає область аналізу для функцій належності.

Управлінське рішення – вибір певного способу дії для досягнення поставленої мети. В умовах невизначеності нечітка логіка допомагає обґрунтувати управлінське рішення на основі кількісних показників і якісних оцінок.

Ф

Фазифікація – перетворення чітких вхідних даних у нечіткі значення шляхом визначення їх ступеня належності до відповідних нечітких множин. Це перший етап роботи системи нечіткого виведення.

Функція належності – математична функція, що встановлює ступінь належності елемента до нечіткої множини. Вона є центральним інструментом формалізації нечітких понять.

Фінансова стійкість – здатність підприємства підтримувати збалансований фінансовий стан, виконувати зобов'язання та забезпечувати стабільний розвиток. У нечітких моделях вона може оцінюватися через ліквідність, автономію, рентабельність і платоспроможність.

Фінансовий коефіцієнт – відносний показник, що використовується для оцінювання фінансового стану підприємства. У нечітких моделях фінансові коефіцієнти можуть бути вхідними змінними для оцінки стійкості, безпеки або ризику.

Ч

Чутливість моделі – властивість моделі змінювати результат у відповідь на зміну вхідних параметрів. Аналіз чутливості допомагає визначити, які показники найбільше впливають на підсумкову нечітку оцінку.

Чітка множина – множина, для якої кожен елемент або належить їй, або не належить. Чіткі множини відповідають класичній логіці та не допускають проміжних ступенів належності.

Я

Якісний параметр – характеристика об'єкта, що описується не числом, а змістовною або лінгвістичною оцінкою. Нечітка логіка дозволяє формалізувати якісні параметри через терми та функції належності.

**КОРОТКІ БІОГРАФІЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВЧЕНИХ,
ЯКІ ЗГАДУЮТЬСЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПОСІБНИКУ*****«Нечітка логіка: інструментарій аналізу невизначеності»***

Нижче подано короткі біографічні довідки про науковців, чиї ідеї, праці або підходи згадуються у навчальному посібнику в контексті класичної логіки, нечіткої логіки, теорії нечітких множин, нечіткого моделювання, правового мислення, штучного інтелекту і права, а також економічного аналізу в умовах невизначеності. Матеріал підготовлено у стислому довідковому форматі, придатному для розміщення у додатку до посібника.

Арістотель

давньогрецький філософ і засновник формальної логіки
384–322 до н. е.



Арістотель – один із найвпливовіших мислителів античності, учень Платона і вихователь Александра Македонського. Його наукова спадщина охоплює філософію, логіку, етику, політику, риторiku, природознавство та метафізику. У контексті посібника Арістотель важливий насамперед як засновник традиції формально-логічного аналізу мислення. Саме з його працями пов'язують становлення класичної логіки як системи правил правильного міркування. Арістотелівська логіка спиралася на аналіз понять, суджень і силогізмів, тобто таких структур, в яких із загальних посилок виводиться окремий висновок. У подальшому ця традиція стала основою європейської науки, юридичної аргументації та математичного доведення. Для теми нечіткої логіки постать Арістотеля має методологічне значення: саме класична логіка, започаткована в античності, є тією вихідною моделлю, межі якої розширюються за допомогою багатозначної та нечіткої логіки.

Лотфі Аліаскер Заде

*американський математик, інженер
і засновник теорії нечітких множин
1921–2017*



Лотфі Заде народився в Баку, здобув освіту в Ірані та США, працював у Колумбійському університеті, а згодом став професором Каліфорнійського університету в Берклі. У 1965 році він опублікував фундаментальну статтю «Fuzzy Sets», в якій запропонував ідею нечіткої множини та функції належності. Ця праця започаткувала новий напрям у математиці, кібернетиці, штучному інтелекті та системному аналізі. На відміну від класичної логіки, де елемент або належить множині, або ні, Заде показав можливість часткової належності, що описується значеннями від 0 до 1. У посібнику його ідеї мають центральне значення, оскільки саме вони пояснюють перехід від двозначної оцінки до градуйованого опису невизначеності. Заде також розвинув поняття лінгвістичної змінної, обчислень зі словами та загальної теорії невизначеності.

Анджей Пегат

*польський дослідник у сфері нечіткого моделювання і керування
XX–XXI ст.*



Андже́й Пега́т відомий як автор праць із нечіткого моделювання, нечіткого керування та застосування теорії нечітких множин у складних системах. Особливе значення має його монографія «Fuzzy Modeling and Control», в якій системно розглянуто базові поняття нечіткої логіки, інформаційної грануляції, функцій належності, нечітких правил і методів побудови моделей. У посібнику Пегат згадується у зв'язку з поясненням природи нечіткої інформації, ролі лінгвістичних описів та принципу переходу від точних числових даних до інформаційних гранул. Його підхід важливий для розуміння того, що нечітка логіка не усуває неточність, а робить її формалізованою і придатною для аналізу. Праці Пегата корисні для економічного, управлінського та технічного моделювання, де дослідник має справу з неповною, наближеною або експертною інформацією.

Ебрагім «Ейб» Мамдані

дослідник штучного інтелекту і нечіткого керування
1942–2010



Ебрагі́м Ма́мда́ні був фахівцем у галузі штучного інтелекту, електротехніки та нечіткого керування. Він працював у Великій Британії, зокрема в Queen Mary College та Imperial College London. Його ім'я пов'язане з одним із найвідоміших підходів до нечіткого логічного виведення – методом Мамдані. У 1970-х роках Мамдані показав практичну цінність нечітких алгоритмів для керування динамічними об'єктами, що стало важливим кроком у переході нечіткої логіки від теоретичної концепції до прикладних інженерних систем. У посібнику метод Мамдані використовується для пояснення нечіткої імплікації, агрегування правил і перетворення експертних суджень у формалізовану модель. Його підхід зручний для навчальних цілей,

оскільки логіка «якщо-то» є інтуїтивно зрозумілою і близькою до людського способу міркування.

Роберт Алексі

німецький правознавець і філософ права
нар. 1945 р.



Роберт Алексі – один із провідних сучасних теоретиків права, відомий дослідженнями юридичної аргументації, конституційних прав і принципу пропорційності. Він працював у Кільському університеті та здобув міжнародне визнання завдяки працям «A Theory of Legal Argumentation» і «A Theory of Constitutional Rights». Для тематики посібника Алексі важливий тим, що його концепція правових принципів і зважування демонструє межі суто формального юридичного силогізму. Оцінка пропорційності, балансування прав та інтересів, визначення ваги аргументів мають градуальний характер і не завжди можуть бути зведені до двозначної логіки. Тому ідеї Алексі створюють методологічне підґрунтя для використання нечіткої логіки у праві, особливо там, де потрібно враховувати ступінь інтенсивності втручання, вагу суспільного інтересу або рівень обґрунтованості рішення.

Лотар Філіппс

*німецький дослідник права, логіки та штучного інтелекту
XX–XXI ст.*



Лотар Філіппс відомий працями на перетині правової теорії, комп'ютерного моделювання, штучного інтелекту і юридичного міркування. У посібнику його ім'я згадується у зв'язку з дослідженнями, які демонструють, що застосування комп'ютерних підходів до права не обов'язково означає механічний формалізм. Спільно з Джованні Сартором він розглядав перехід від класичних правових теорій до моделей нейронних мереж і нечіткого міркування. Цей підхід важливий для сучасної юридичної освіти, оскільки показує, що правове мислення може бути формалізоване не лише через жорсткі силогізми, а й через інтелектуальні системи, здатні працювати з контекстом, неповнотою інформації та нечіткими категоріями.

Джованні Сартор

*італійський правознавець, фахівець із правової інформатики
та AI & Law нар. 1959 р.*



Джованні Сартор – один із провідних європейських дослідників у сфері правової інформатики, штучного інтелекту і права, логіки та юридичної

аргументації. Він пов'язаний з Університетом Болоньї та Європейським університетським інститутом у Флоренції, працював також у Суді Європейського Союзу та дослідницьких структурах, що займаються правовою інформацією. У контексті посібника Сартор важливий як автор, що розвиває ідею поєднання правової теорії з комп'ютерним моделюванням юридичного міркування. Його праці присвячені правовій аргументації, деонтичній логіці, дефізібельному міркуванню, обчислювальним моделям права та штучному інтелекту. Для нечіткої логіки його внесок полягає у підкресленні того, що правові рішення часто потребують моделей, здатних працювати з неповнотою даних, конфліктом аргументів і градуальними оцінками.

Текла Маццарезе

*італійська дослідниця філософії права, логіки та юридичного міркування
XX–XXI ст.*

Текла Маццарезе відома працями з філософії права, юридичної логіки та проблеми нечіткості у судовому ухваленні рішень. У посібнику її дослідження використовується для критики надмірно раціоналістичного уявлення про судові рішення як простий силогістичний висновок. Маццарезе показує, що юридична мова містить значну кількість нечітких, оціночних і контекстуально залежних понять, а тому правозастосування не може бути повністю пояснене засобами класичної двозначної логіки. Її підхід важливий для розуміння судового міркування як процесу, у якому встановлення факту, тлумачення норми та оцінка юридичної значущості часто мають градуальний характер. Це безпосередньо пов'язує її роботи з методологією нечіткої логіки у правових дослідженнях.

Макото Сю, Кадзуо Хіроta і Хадзіме Йосіно

*дослідники нечітких підходів у правовому case-based reasoning
XX–XXI ст.*

М. Xu, К. Hirota та Н. Yoshino відомі спільною працею, присвяченою нечіткому теоретичному підходу до представлення кейсів і виведення у системах case-based reasoning на матеріалі CISG. У посібнику їх робота згадується як приклад застосування нечіткої логіки до правової інтерпретації, де між фактичними обставинами справи, правовою нормою та попередніми кейсами існує не жорстка тотожність, а певний ступінь подібності. Їхній підхід важливий для навчання правників, оскільки показує, що юридичне мислення часто є порівняльним і градуальним. Особливо це стосується ситуацій, коли потрібно не просто встановити, чи підпадає справа під норму, а визначити рівень відповідності між фактичним складом і правовим зразком.

Федеріко Гонсалес Сантойо

*мексиканський дослідник управління, економіки та нечітких методів
ухвалення рішень XX–XXI ст.*



Федеріко Гонсалес Сантойо працює у сфері економіко-математичного моделювання, управління, ухвалення рішень та застосування нечіткої логіки до складних соціальних і правових проблем. У посібнику він згадується як один із авторів праці про використання нечіткої логіки в дизайні публічної політики та застосуванні права. Цей напрям є важливим, оскільки демонструє можливість перенесення нечітко-логічного апарату з технічних і економічних задач у сферу юридичного аналізу. Праці Гонсалеса Сантойо показують, що правове рішення часто ухвалюється не за умов повної визначеності, а в середовищі конфлікту цінностей, неповноти інформації та оціночних категорій. Тому нечітка логіка може використовуватися як інструмент підтримки більш обґрунтованого, прозорого і гнучкого правозастосування.

Беатріс Флорес Ромеро

*дослідниця нечітких методів у соціально-економічному
та правовому аналізі XX–XXI ст.*

Беатріс Флорес Ромеро є співавторкою досліджень, у яких нечітка логіка використовується для аналізу складних управлінських, економічних і правових задач. У посібнику її ім'я згадується у зв'язку з роботою про застосування нечіткої логіки у сфері права та публічної політики. Основне значення таких досліджень полягає в тому, що вони переводять якісні судження, характерні для юридичної та управлінської практики, у формалізовані моделі. Це дозволяє враховувати проміжні стани, ступінь прояву ознак, неоднозначність фактів і контекстуальність рішень. Для навчального посібника постать Флорес Ромеро важлива як приклад міждисциплінарного застосування нечіткої логіки на межі економіки, управління, права та соціальних наук.

Ана Марія Гіл-Лафуенте

*іспанська дослідниця нечіткої логіки в економіці та фінансовому аналізі
XX–XXI ст.*



Ана Марія Гіл-Лафуенте є відомою дослідницею у сфері фінансово-економічного аналізу, ухвалення рішень в умовах невизначеності та застосування нечіткої логіки до економічних процесів. Її монографія «Fuzzy Logic in Financial Analysis» розглядає можливості використання нечітких методів для дослідження фінансових показників, бізнес-рішень і складних економічних ситуацій. У посібнику її ім'я згадується в контексті поєднання нечіткої логіки з економічним і правовим аналізом. Внесок Гіл-Лафуенте полягає у демонстрації того, що фінансові та економічні показники не завжди можуть бути адекватно описані жорсткими кількісними критеріями. Нечітка логіка дозволяє враховувати експертні оцінки, якісні характеристики, суб'єктивні очікування та комплексні ризики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Юркевич О. М., Качурова С. В., Невельська-Гордєєва О. П. Логіка : підручник / за заг. ред. О. Г. Данильяна. Харків : Право, 2022. 220 с.
2. Бліхар В. С., Левкулич В. В., Олексюк М. М. Логіка для юристів : підручник. Вид. 2-е, перероб. та допов. Ужгород : Вид-во УжНУ «Говерла», 2022. 316 с.
3. Legrand J. Some guidelines for fuzzy sets application in legal reasoning. *Artificial Intelligence and Law*. 1999. 7. S. 235–257. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008357323873>.
4. Perez O. Fuzzy Law: A Theory of Quasi-Legal Systems. *Canadian Journal of Law & Jurisprudence*. 2015. 28(2). S. 343–370. DOI:10.1017/cjlj.2015.31.
5. Célia da Costa Pereira, Andrea G. B. Tettamanzi, Beishui Liao, Alessandra Malerba, Antonino Rotolo, et al. Combining Fuzzy Logic and Formal Argumentation for Legal Interpretation. ICAIL 2017 : 16th International Conference on Artificial Intelligence and Law. London, United Kingdom, 2017. S. 49–58. <10.1145/3086512.3086532>. <hal-01672343>.
6. Mylonopoulos C. The contribution of fuzzy logic and comparative concepts to the rational application of proportionality stricto sensu. In E. Bilis, N. Knust, J. P. Rui. Proportionality in crime control and criminal justice: Modern challenges in security, law and criminal justice. Hart Publishing. 2021. S. 69–78.
7. Xu M., Hirota K., Yoshino H. A fuzzy theoretical approach to case-based representation and inference in CISG. *Artificial Intelligence and Law*. 1999. 7. S. 259–272. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008373709761>.
8. Philipps L., Sartor G. Introduction: From legal theories to neural networks and fuzzy reasoning. *Artificial Intelligence and Law*. 1999. 7. S. 115–128. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008371600675>.
9. Mazzaresse T. *Fuzzy logic and judicial decision-making: A new perspective on the alleged norm-irrationalism*. *Informatica e diritto*. 1993. 2(2). S. 13–36.
10. González Santoyo F., Flores Romero B., Gil Lafuente A. M., Flores J. Fuzzy logic in the design of public policies: Application of law. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*. 2017. 51(2). S. 281–290.
11. Vasil'ev A., Fomenko A. I. On the Use of Fuzzy Logic in Criminal Justice. Springer, Cham. 2020. S. 564–570. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68004-6_74.
12. Sobol-Kołodziejczyk P., Zieliński M. Application of the logics of fuzzy sets in law on the example of the case of “assets coming indirectly from a prohibited act”. *Annals of the Administration and Law*. 2017. 17(1). S. 71–80.

13. Abbasova M. N., Imamgulyev R. A. Addressing ambiguity in legal systems: A fuzzy logic-based approach to legal interpretation. *AUDIT*. 2024. 3(45) S. 114–126. DOI: <https://doi.org/10.59610/bbu3.2024.3.11>.
14. Sabahi F., Akbarzadeh-T. M.-R. Introducing validity in fuzzy probability for judicial decision-making. *International Journal of Approximate Reasoning*. 2014. 55(7). S. 1383–1403.
15. Balkır Z. G., Alniaçık Ü., Apaydın E. Fuzzy logic in legal education. In *International Conference on New Trends in Education and Their Implications*. 2010. S. 1162–1168.
16. Shapira, R. A. Fuzzy logic and its application to legal reasoning – A comment to Professor Zadeh. In M. MacCrimmon et al. (Eds.). *The dynamics of judicial proof*. Physica-Verlag Heidelberg. 2002. S. 119–120.
17. Baldin S. *The fuzzy logic and the fuzzy approach: A comparative law perspective*. EUT Edizioni Università di Trieste. 2015.
18. Khalid S., Khan S. A., Ifzal S. Q. A fuzzy logic based framework for mapping crime data on established sociological hypothesis for societal disorder identification and prevention. *IEEE Access*. Advance online publication. 2021. DOI : <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3083542>.
19. Pramanik A., Das A. K., Pelusi D., Nayak J. An effective fuzzy clustering of crime reports embedded by a universal sentence encoder model. *Mathematics*. 2023. 11(3). S. 611. <https://doi.org/10.3390/math11030611>.
20. Nithyakumar K., Sridharan P., Ramesh R., Aarthi S. Crime detection and prevention using fuzzy control logic. *SSRG International Journal of Computer Science and Engineering (SSRG-IJCSE)*. Special Issue NCTCT. 2019. S. 30–34.
21. Zhang Z., Huang J., Hao J., Gong J., Chen H. Extracting relations of crime rates through fuzzy association rules mining. *Applied Intelligence*. 2020. 50(2). S. 448–467. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10489-019-01531-3>.
22. The Criminal Code of Ukraine (current version as of July 17, 2025). *Verkhovna Rada of Ukraine*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/2341-14#Text>
23. Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. Springer. 2001. Vol. 69. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1824-6>.
24. Myachin V., Yudina O., Myroshnychenko O. Fuzzy-logical expert system for assessing the financial security of enterprises. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2021. 7(4). S. 123–125. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2021-7-4-123-135>.
25. Makedon V., Myachin V., Plakhotnik O., Fisunen N., Mykhailenko O. (2024). Construction of a model for evaluating the efficiency of technology transfer process based on a fuzzy logic approach. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. 2(13(128)). S. 47–57. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300796>.

26. Семенова К. Д., Тарасова К. І. Ризики діяльності промислових підприємств: інтегральне оцінювання: монографія. Одеса : ФОП Гуляєва В. М., 2017. 234 с.
27. Гриценко К. Г. Інтегральна оцінка ризику страхової компанії. *Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки)*. Мелітополь : Мелітопольська типографія «Люкс», 2012. № 3(19). С. 56–64.
28. Швець Н. Р., Юшкалюк А. А. Інтегральний фінансовий ризик банку та загальна методологія його оцінки. *Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2016. Вип. 6. Ч. 3. С. 163–167.
29. М'ячин В. Г., Дмитрюк А. В. Сучасні та перспективні методи та моделі оцінки господарських ризиків підприємства. *Перспективи розвитку менеджменту, фінансів та аудиту в умовах інтеграційних процесів* : матеріали Всеукр. науково-практ. конф. (Україна, м. Одеса, ГО «Центр економічних досліджень та розвитку», 8 грудня 2018 р.). Одеса : ЦЕДР, 2018. С. 46–47.
30. М'ячин В. Г., Митрофанов В. Ю. Оцінка впливу ризиків ліквідності на фінансову платоспроможність вітчизняних фармацевтичних підприємств. *Міжнародне економічне співробітництво: аналіз стану, реалії і проблеми* : матеріали доповідей Міжнар. науково-практ. конф. (м. Ужгород, 23–24 лютого 2024 р.) / за заг. ред.: М. М. Палінчак, В. П. Приходько, В. В. Химинець та ін. Львів–Торунь : Liha-Pres, 2024. С. 58–60. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-478-1-16>.
31. Каверіна Н. О. Науково-методичні підходи до аналізу та оцінки ризиків інноваційної діяльності. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2014. № 5/3(5). С. 74–79. DOI: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2014.34799>.
32. Fadyeyeva I., Hryniuk O. Fuzzy modelling in risk assessment of oil and gas production enterprises' activity. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2017. Vol. 3. No. 4. S. 256–264. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2017-3-4-256-264>.
33. Gallab M., Bouloiz H., Alaoui Y. L., Tkiouat M. Risk assessment of maintenance activities using fuzzy logic. *Procedia Computer Science*. 2019. 148. S. 226–235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.065>.
34. Merola F., Bernardeschi C., Lami G. A risk assessment framework based on fuzzy logic for automotive systems. *Safety*. 2024. 10(2). S. 41. DOI: <https://doi.org/10.3390/safety10020041>.
35. Мурасов Р., Нікітін А. Мещеряков І. Математична модель оцінювання ризиків функціонування об'єктів критичної інфраструктури на основі теорії нечіткої логіки. *Social Development and Security*. 2024. 14(5). 166–174. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.5.17>.
36. Примерова О. К., Кисельова Г. А. Застосування апарату нечіткої логіки для оцінки рівня банківського ризику. *Економіка і суспільство*. 2016. № 7. С. 825–829.

37. Резнікова О. О., Войтовський К. Є., Лепіхов А. В. Національні системи оцінювання ризиків і загроз: кращі світові практики, нові можливості для України : аналіт. доп. / за заг. ред. О. О. Резнікової. Київ : НІСД, 2020. 84 с. URL: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-07/dopovid.pdf>.
38. Коваль О. А., Литус П. Р. Управління фінансовою стійкістю підприємства. *Ефективна економіка*. 2020. № 12. DOI : <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.12.77>.
39. Чайка Т. Ю., Лошакова С. Є., Водоріз Я. С. Розрахунок коефіцієнтів ліквідності за балансом, урахування фінансових і виробничих особливостей підприємства під час здійснення коефіцієнтного аналізу ліквідності. *Економіка і суспільство*. 2018. Вип. 15. С. 900–908.
40. Чайка Т. Ю., Мартинова В. В., Ісиченко Є. Ю. Система коефіцієнтів рентабельності продажів підприємств сфери гостинності: розрахунок за фінансовою звітністю та сучасні тенденції аналізу. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. Серія : Економічні науки. 2019. Вип. 33. С. 236–242. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2019-33-47>.
41. Довбня С. Б., Красіна К. О. Комплексна оцінка конкурентоспроможності та обґрунтування стратегії її підвищення на підприємствах кондитерської промисловості. *Економіка та суспільство*. 2023. 57. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-57-117/>.
42. Богацька Н. М. Особливості оцінки конкурентоспроможності підприємства. *Ефективна економіка*. 2020. № 4. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.4.73>.
43. Жалдак Г. П., Мамаджанов А. Р. Напрями та методи оцінки рівня конкурентоспроможності підприємств. *Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. 2022. № 22. С. 52–57. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.22.2022.259813>.
44. Брижан І. А., Чевганова В. Я. Порівняння методів оцінювання конкурентоспроможності підприємства. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2015. № 4/5(24). С. 10–15. DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.47269>.
45. М'ячин В. Г., Алейнікова К. В. Сучасні та перспективні методи оцінки конкурентоспроможності інноваційних підприємств та конкурентоспроможності інноваційної продукції. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія : Міжнародні економічні відносини та світове господарство. 2018. Вип. 22(2). С. 134–137. URL: http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/22_2_2018ua/31.pdf.
46. Мурадян Л. А., Кучкова О. В., Чуприна Н. М., Доценко Г. Є., Журавель В. В., Науменко Н. Ю., Свердліковська О. С. Використання методів нечіткої логіки для оптимізації вибору постачальників підприємства. *Наука та прогрес транспорту*. 2023. № 2 (102). С. 104–114. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2023/287631>.

47. Azarova A., Zhytkevych O. Mathematical methods of identification of Ukrainian enterprises competitiveness level by fuzzy logic using. *Економічний часопис–XXI*. 2013. № 9–10(2). С. 59–62.

48. Пархуць Є. Д., Огданська О. Д. Забезпечення конкурентоспроможності підприємства на основі моделей цифрової трансформації. *European Journal of Management Issues*. 2025. Т. 33. № 2. С. 75–87. DOI: <https://doi.org/10.15421/192507>.

49. Бондаренко А. Ф., Гребінь В. В. Сучасні підходи до визначення конкурентоспроможності банку. *Економіка і суспільство*. 2018. Вип. 14. С. 772–777.

Навчальне видання

**М'ячин Валентин Георгійович
Левін Олег Леонідович**

**НЕЧІТКА ЛОГІКА: ІНСТРУМЕНТАРІЙ
АНАЛІЗУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

Навчально-методичний посібник

Редактор, оригінал-макет – *А. В. Самотуга*
Редактор *О. М. Врублевська*

Підп. до друку 20.082026. Формат 60×84/16. Гарнітура – Times New Roman.
Друк – цифровий. Ум.-друк. арк. 7,44. Обл.-вид. арк. 8,00. Зам. № 07/26-нп

Надруковано у Дніпровському державному університеті внутрішніх справ
49005, м. Дніпро, просп. Науки, 26, sed@dduvs.edu.ua
Свідцтво про внесення до державного реєстру ДК № 8112 від 13.06.2024