

БОЙЧУК А. А.

к. е. н., доцент  
ПВНЗ «Хмельницький економічний університет»

БОЙЧУК В. О.

к. т. н., доцент  
Хмельницький національний університет

БОЙЧУК М. В.

студент  
Хмельницький національний університет

### **ПРОГНОЗУВАННЯ ПОДІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ**

*В статті розглянуто актуальні питання побудови прогнозів і прийняття рішень. Виділено основні проблеми традиційних методів прогнозування. Показані переваги використання для прогнозування нечіткої логіки. Визначено основні принципи в організації систем прогнозування в середовищі Matlab. Проведено проектування системи прогнозування типу Мамдані та виконано прогноз результатів спортивних змагань.*

*Ключові слова: математичні методи, нечітка логіка, невизначені події, функція приналежності, алгоритм Мамдані.*

БОЙЧУК А. А.

к. э. н., доцент  
ЧВУЗ «Хмельницький економічний університет»

БОЙЧУК В. А.

к. т. н., доцент  
Хмельницький національний університет

БОЙЧУК М. В.

студент  
Хмельницький національний університет

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОБЫТИЙ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ**

*В статье рассмотрены актуальные вопросы построения прогнозов и принятия решений. Выделены основные проблемы традиционных методов прогнозирования. Показаны преимущества использования для прогнозирования нечеткой логики. Определены основные принципы в организации систем прогнозирования в среде Matlab. Проведено проектирование системы прогнозирования типа Мамдани и выполнено прогнозирование результатов спортивных соревнований.*

*Ключевые слова: математические методы, нечеткая логика, неопределенные события, функция принадлежности, алгоритм Мамдани.*

BOYCHUK A. A.

PhD, associate professor  
PHEE «Khmelnysky Economical University»

BOYCHUK V. O.

candidate of technical sciences, associate professor  
Khmelnyskyi National University

BOYCHUK M. V.

student  
Khmelnyskyi National University

### **EVENT PREDICTION USING MATHEMATICAL METHODS AND MODELS**

*In article actual questions of forecasting and decision making were considered. The main problems of*

*traditional forecasting methods were determined. The advantages of using fuzzy logic for prediction were shown. The basic principles of the forecasting organization in Matlab environment were defined. The forecasting system design such as Mamdani was created.*

*Keywords: mathematical methods, fuzzy logic, uncertain events, membership function, Mamdani algorithm.*

bo\_antonina@ukr.net, gorboy\_888@mail.ru, gorboy\_88@yahoo.com

**Постановка проблеми.** Проблеми побудови прогнозів і прийняття рішень на їх основі займають особливе місце в інформаційних технологіях. Процедури побудови прогнозів використовуються практично у всіх областях знань, у тому числі в економіці, соціології, техніці, спорті, освіті і т. д.

Але існує ряд завдань, які не піддаються формальному опису в силу того, що частина параметрів являють собою неточно або якісно задані величини, для яких перехід від «приналежності до класу» до «неналежності» неперервний. Традиційні методи недостатньо придатні для вирішення подібних завдань саме тому, що вони не в змозі описати невизначеність, що виникає.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато методів прогнозування вимагають наявності значної кількості початкових даних і при їх відсутності просто не працюють. Інші, навпаки, розробляються за умови відсутності достовірної кількісної інформації. Тим самим існуючі методи складання прогнозів можна умовно розбити на дві групи: кількісні та якісні [1]. Якісні, або експертні, методи прогнозування (qualitative methods) будуються на використанні думок фахівців у відповідних областях (експертів). Кількісні методи прогнозування (quantitative methods) ґрунтуються на обробці числових масивів даних (як значних за обсягом, так і порівняно невеликих) і в свою чергу поділяються на каузальні, або причинно-наслідкові, методи (causal methods) і методи аналізу часових рядів (time series methods). Засновані на допущенні, відповідно до якого відбулася у минулому дає хороше наближення в оцінці майбутнього, аналіз часових рядів є способом виявлення тенденцій минулого та продовження їх у майбутнє. Для складання середньострокових і довгострокових прогнозів застосовуються каузальні і якісні методи прогнозування, які значно складніше методів аналізу часових рядів. Каузальні методи застосовуються в тих випадках, коли шуканий стан залежить не тільки від часу, але і від кількох, і навіть багатьох змінних. Відшукання математичних зв'язків (рівнянь і/або нерівностей) між усіма цими змінними і становить суть каузального методу прогнозування.

Використання нечіткої логіки для прогнозування дає змогу оперувати даними, які неможливо оцінити кількісно.

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження можливості розробки системи прогнозування за допомогою нечіткої логіки.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання: дати характеристику методу нечіткої логіки; визначити, які фактори впливають на успішність результатів та розробити систему прогнозування в середовищі MATLAB; провести експериментальну перевірку функціонування системи прогнозування.

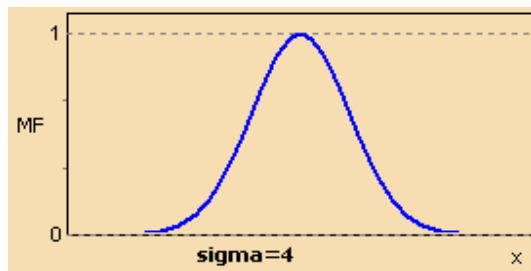
**Виклад основного матеріалу дослідження.** Нечітка логіка (англ. fuzzy logic) – це розділ математики, що є узагальненням класичної логіки і теорії множин, що базується на понятті нечіткої множини, вперше введеної Лотфі Заде в 1965 році [2]. На відміну від булевої алгебри, у котрій існує лише дві величини (0 та 1, правда чи неправда) у нечіткій логіці існують також перехідні величини (стани). Предметом нечіткої логіки вважається дослідження міркувань в умовах нечіткості, розмитості.

Характеристикою нечіткої множини виступає функція приналежності. Позначимо через  $Mf_c(x)$  ступінь належності до нечіткої множини  $C$ , що являє собою узагальнення поняття характеристичної функції звичайної множини. Тоді нечіткою множиною  $C$  називається множина впорядкованих пар виду  $C = \{Mf_c(x) / x\} Mf_c(x) [0,1]$ . Значення  $Mf_c(x) = 0$  означає відсутність приналежності до множини, 1 – повну приналежність.

Для опису нечітких множин використовуються поняття нечіткої та лінгвістичної змінних. Нечітка змінна описується набором  $(NXA)$  де  $N$  – це назва змінної;  $X$  – область її

визначення;  $A$  – нечітка множина на універсумі  $X$ . Значеннями лінгвістичної змінної можуть бути нечіткі змінні тобто лінгвістична змінна, що знаходиться на більш високому рівні ніж нечітка змінна. Кожна лінгвістична змінна складається з:  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$ , де  $\beta$  – назва лінгвістичної змінної;  $T$  – множина її значень (термів);  $X$  – універсум нечітких змінних;  $G$  – синтаксична процедура утворення нових термів;  $M$  – семантична процедура, що формує нечіткі множини для кожного терма даної лінгвістичної змінної та ставить у відповідність нечітку підмножину множини  $X$ .

Існує понад десяток типових форм кривих для завдання функцій приналежності. Найбільшого поширення набули: трикутна, трапецеїдальна і гаусова функції приналежності (рис. 1).



**Рис. 1. Гаусова функція приналежності**

База знань – це класичні правила виду «ЯКЩО ... ТО ...», де в якості умов і висновків будуть використовуватися нечіткі висловлювання. Записуються такі правила в наступному вигляді:

$$\text{IF } (\beta_1 \text{ IS } \alpha_1) \text{ AND } (\beta_2 \text{ IS } \alpha_2) \text{ THEN } (\beta_3 \text{ IS } \alpha_3).$$

Крім «AND» також використовуються логічна зв'язка «OR». Але такий запис зазвичай намагаються уникати, розділяючи такі правила на декілька більш простих (без «OR»).

Нечітким логічним висновком називають процес отримання результату у вигляді нечіткої множини для поточних значень входів, використовуючи нечітку базу знань, шляхом застосування операцій над нечіткими множинами.

Системи нечіткого логічного висновку – це системи, які здатні встановлювати складні нелінійні залежності між вхідними та вихідними змінними. Вони використовуються для процесів, які є багатовимірними, нелінійними або змінними протягом часу. Системи нечіткого логічного висновку можна застосувати для роботи з неповністю визначеними системами, оскільки для них не потрібна чітка математична модель.

На вхід системи подається вектор значень вхідних змінних. Значення вхідних змінних можуть мати як чіткий, так і нечіткий характер.

Алгоритм Мамдані описує кілька послідовно виконуваних етапів (рис. 2). При цьому кожний наступний етап отримує на вхід значення отримані на попередньому кроці.



**Рис. 2. Структура системи на основі нечіткого логічного висновку**

Алгоритм примітний тим, що як на вхід надходять, так і на виході отримують кількісні значення. На проміжних етапах використовується апарат нечіткої логіки і теорія нечітких множин.

Нечіткий логічний висновок виконують у декілька етапів:

Фазифікація – це процес, коли за допомогою функцій належності, визначених для вхідних змінних, визначається їх ступінь приналежності до кожного з термів лінгвістичної змінної.

Агрегація – це процес, який по часткових висновках дозволяє визначити істинність лінгвістичного правила.

Агрегація методом мінімуму виглядає так:  $agg = \bigwedge_{i=1}^n a_i$ .

Нечітка імплікація визначає формулу, згідно з якою модифікується терм вихідної змінної, відповідно до агрегованого значення входів правила. Імплікація методом мінімуму:  $\mu'(y_i) = agg \wedge \mu(y_i)$ .

Активация та акумуляція – визначення узагальненого ступеню відповідності вихідного сигналу певному лінгвістичному терму та формування результуючої функції належності, що характеризує вихідне значення системи для поточних значень входів.

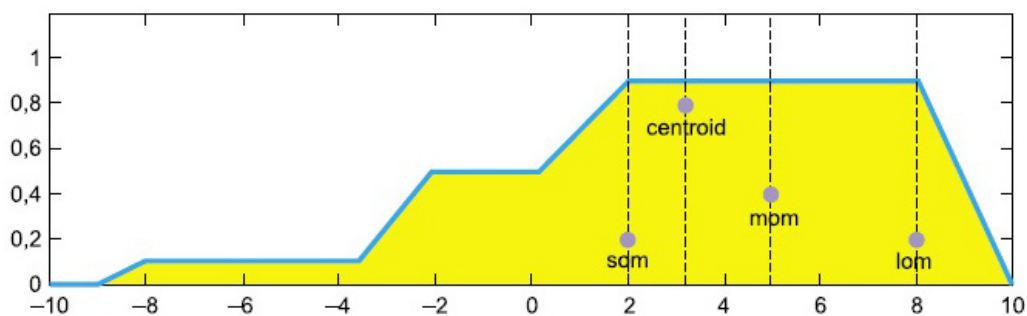
Дефазифікація в системах нечіткого висновку являє собою процедуру або процес знаходження значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини. На рис. 3 показана дефазифікація різними методами.

Мета дефазифікації полягає в тому, щоб, використовуючи результати акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних, отримати звичайне кількісне значення кожної з вихідних змінних.

Для реалізації процесу нечіткого моделювання в середовищі MATLAB був використаний пакет розширення Fuzzy Logic Toolbox [2, 3].

В середовищі MATLAB запрограмовані такі методи дефазифікації:

- 1) Centroid – центр тяжіння;
- 2) Bisector – медіана;
- 3) Lom – найбільший з максимумів;
- 4) Som – найменший з максимумів;
- 5) Mom – середній з максимумів.



**Рис. 3. Дефазифікація різними методами**

Для прогнозування вибираємо результати біатлоністів у поточному сезоні. Створимо ієрархічну систему з двома проміжними змінними. Для цього необхідно реалізувати три підсистеми з відповідними вхідними та вихідними змінними. Всі системи працюють за алгоритмом Мамдані (рис. 4).

Для змінних всіх систем визначаємо вхідні та вихідні лінгвістичні змінні, їх терми та створюємо бази знань. Перші дві системи містять по 27 правил в базі знань, а третя система – 60.

Після створення систем за допомогою функції evalfis обчислюємо значення проміжних змінних та вихідної змінної (рис. 5).

Результатом прогнозування даної системи за стандартними в MATLAB методами виконання нечіткого логічного висновку є виграш сезону з біатлону Мартеном Фуркадом з шансами 70.59 та Кайсою Макарайнен з шансами 55.91.

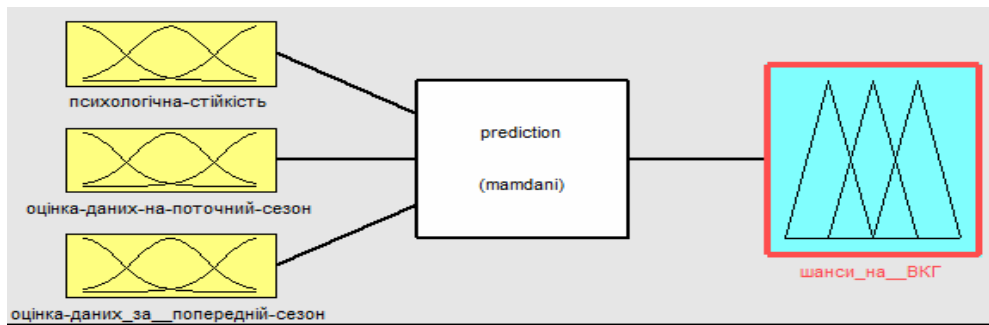


Рис. 4. Система прогнозування виграшу

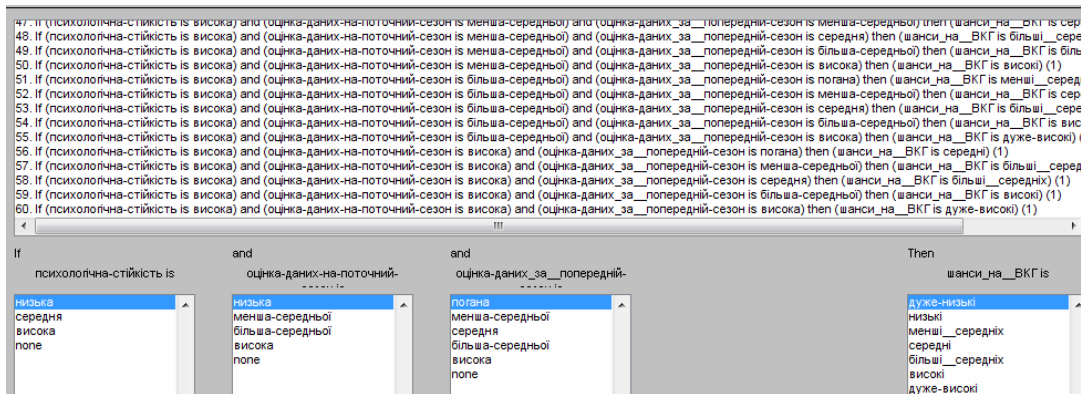


Рис. 5. База знань системи що рахує шанси спортсменів

**Висновки.** Нечітка логіка дає змогу працювати з різними даними, в тому числі і з тими що не можна описати числовими значеннями, це є зручним для прогнозування в даній роботі, програма Matlab дає змогу зробити підрахунки в системах нечіткого висновку, які дуже важко зроби вручну, тому є можливість створювати системи з великою кількістю правил та термів.

Система нечіткого висновку за алгоритмом Мамдані працюють за етапи: фазифікації, агрегації (мінімум), імплікації (мінімум), активації та акумуляції (максимум), дефазифікації (метод центра ваги), стандартно в Matlab.

При зміні методів дефазифікації значення вихідної змінної може сильно змінюватись, але шанси спортсменів відносно один одного будуть в основному такими ж, як і при дефазифікації методом Centroid.

На основі запропонованого підходу і моделювання в середовищі MATLAB був проведений аналіз моделі на прикладі прогнозування спортивних результатів з використанням алгоритмів нечіткого висновку Мамдані. Аналіз отриманих результатів дозволяє визначити вплив значень вхідних параметрів моделі на результуюче місце. Розроблену систему прогнозування доцільно використати для побудови ефективних стратегій керування в економіці, соціології, техніці.

**Список використаних джерел**

1. Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування : навч. посіб- ник / А. М. Єріна. – К. : КНЕУ, 2001. – 170 с.
2. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH : [монографія] / А. В. Леоненков. – СПб : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
3. Дьяконов В. П. MATLAB 5 с пакетами расширения / В. П. Дьяконов, И. В. Абраменкова, В. В. Круглов. – М. : Нолидж, 2001. –880 с.