

*Н. Шаповаленко, Національний банк України*

## **ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ПРОГНОЗУВАННІ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ У КРАЇНАХ З ПЕРЕХІДНОЮ ЕКОНОМІКОЮ**

*У статті досліджується необхідність використання інтелектуальних систем прийняття рішень у прогнозуванні економічних показників. Порівнюється даний підхід з іншими типами математичних моделей.*

*Ключові слова: макроекономічні показники, прогнозування, математичні моделі, інтелектуальні системи прийняття рішень.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** У сучасній ситуації виникає потреба у розробці математичних моделей для аналізу та прогнозування макроекономічних показників. Однак складні залежності між показниками та різкі структурні зміни в економіці створюють труднощі при моделюванні. За таких обставин виникає питання можливості побудови аналітичної залежності між показниками та ефективності використання класичних методів прогнозування для економіки перехідного періоду.

Не можна з упевненістю стверджувати, що інтелектуальні системи прийняття рішень, і зокрема, системи з використанням апарату нечіткої логіки та нейронних мереж, кращі за класичний інструментарій чи навпаки, однак ці моделі активно використовуються за кордоном вже не одне десятиріччя, вони дали непогані результати, тобто даний підхід має право на існування і, більш того, вимагає детального розгляду й аналізу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемою визначення найбільш ефективних моделей та підходів до макроекономічного прогнозування займалися як вітчизняні, так і закордонні вчені. Найбільший внесок у вирішення проблеми макроекономічного прогнозування зробили О. Чубулова, А. Гальчинський, С. Кораблін, В. Геєць.

**Метою** даної статті є дослідження ефективності інтелектуальних систем прийняття рішень у прогнозуванні економічних показників та порівняння вищезазначеного підходу із використанням інших типів математичних моделей.

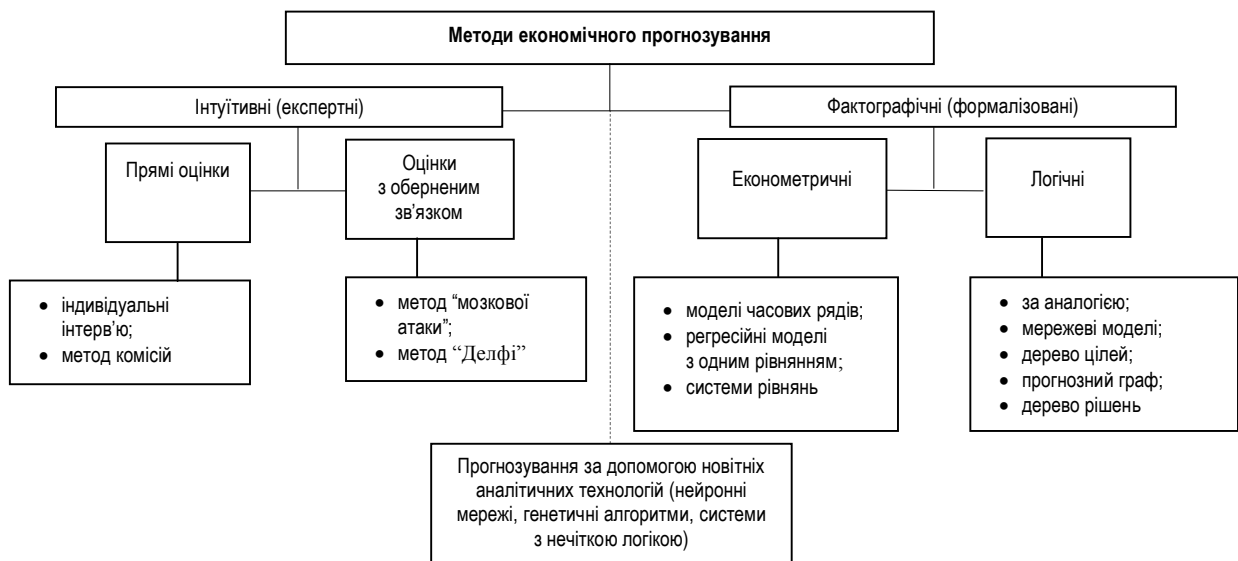
**Виклад основного матеріалу.** Прогнозування виступає ключовим моментом у прийнятті рішень в економічній політиці. На сьогодні можливість передбачити негативний вплив деяких подій на економічну ситуацію в цілому має важливе значення. Апаратом для виявлення таких подій є, в першу чергу, методи економічного прогнозування.

Методи прогнозування<sup>1</sup> – сукупність засобів, що дозволяють на основі аналізу інформації про прогнозний об’єкт вивести відносно вірогідне міркування щодо його майбутнього розвитку. Існує велика кількість методів прогнозування. Наведемо одну з можливих класифікацій за ступенем формалізації (рис. 1).

Далі розглянемо саме моделі, які потребують використання математичного апарату. У більшості випадків етапові прогнозування передують побудова математичної моделі процесу, що досліджується. Економіко-математична модель – це концентроване відображення існуючого взаємозв’язку та закономірностей процесу функціонування економічної системи у математичній формі.

Найважливішим поняттям економіко-математичного моделювання є поняття адекватності моделі, тобто відповідності моделі об’єкту або процесу, що моделюється. Адекватність моделі певним чином є умовним поняттям, тому що повної відповідності моделі реальному об’єкту не може бути (це стосується й економіко-математичного моделювання). Перевірка адекватності економіко-математичних моделей на сьогодні вважається доволі непростю задачею, тим більше, що її ускладнюють умови, за яких виконується вимірювання економічних показників. Однак без проведення такої перевірки використання результатів моделювання в прийнятті рішень може не тільки виявитися некорисним, але й нашкодити.

<sup>1</sup> Прогнозуванням називається процес розробки прогнозів. В економічній науці надані різноманітні визначення понять “прогноз” та “прогнозування”. Наведемо визначення поняття “прогноз”, надане Ю.В. Вертаковим та Е.Н. Кузьбожевим: “прогноз – наукове обґрунтування альтернативних цілеспрямованих стратегій, шляхів та засобів активного впливу на дії, що базуються на пізнанні сутності та кількісної характеристики об’єктивних тенденцій соціально-економічного розвитку” [1].



**Рис. 1. Класифікація методів прогнозування за ступенем формалізації**

Соціально-економічні системи зазвичай належать до так званих складних систем. Отже, для того щоб можна було говорити про адекватність, при моделюванні складних систем необхідно врахувати ряд властивостей в економіці:

- емергентність як виявлення властивості цілісності системи, тобто наявність в економічній системі таких властивостей, які не притаманні жодному з її елементів, що розглядаються окремо. Емергентність є результатом виникнення між елементами системи так званих синергетичних зв'язків, які забезпечують зростання загального ефекту до рівня, що вищий за суму ефектів елементів системи, отриманих незалежно одне від одного. Отже, соціально-економічні системи необхідно досліджувати та моделювати в цілому;
- масовий характер економічних явищ та процесів. Закономірності економічних процесів не можуть бути виявлені на основі невеликої кількості спостережень. Отже, моделювання в економіці повинно базуватися на значній кількості спостережень;
- динамічність економічних процесів, яка проявляється в зміні параметрів та структурі економічних систем під впливом середовища (зовнішніх факторів);
- випадковість та невизначеність у розвитку економічних явищ. Саме тому економічні явища та процеси мають в основному імовірнісний характер, і для їх вивчення необхідно застосовувати економіко-математичні моделі на базі теорії імовірностей та математичної статистики;

- неможливість ізолювати процеси, що відбуваються в економічних системах під впливом процесів навколишнього середовища, для їх спостереження та дослідження в чистому вигляді;

- активна реакція на нові факти, що з'являються, здатність соціально-економічних систем до активних та не завжди передбачених дій залежно від реакції системи на ці фактори, засоби та методи їх впливу.

Вищезазначені властивості соціально-економічних систем ускладнюють процес їх моделювання, однак їх необхідно враховувати при розгляді різних аспектів моделювання – починаючи з вибору типу моделі та закінчуючи питанням їх практичного застосування та використання результатів моделі.

Отже, розглянемо деякі основні принципи побудови математичної моделі.

1. Необхідно порівнювати точність та детальність моделі, по-перше, з точністю тих вихідних даних, які є у наявності у дослідника та, по-друге, з результатами, які необхідно отримати.

2. Математична модель повинна відображати головні риси явища, що досліджується, і при цьому не проводити занадто значне його спрощення.

3. Оскільки математична модель не може бути повністю адекватною реальному явищу, для його дослідження краще використовувати декілька моделей, для побудови яких застосовуються різні математичні методи. Якщо при цьому отримані результати є близькими один до одного, дослідження закінчується. Інакше необхідно переглянути постановку задачі.

4. Будь-яка складна система завжди зазнає невеликого зовнішнього та внутрішнього впливу.

ву, отже, математична модель повинна бути стійкою, тобто зберігати свої властивості та структуру за умов цього впливу.

Серед математичних моделей об'єктом нашого подальшого аналізу будуть економетричні моделі та моделі із застосуванням аналітичних систем новітнього типу. Ми спробуємо розглянути їх основні переваги та недоліки для виявлення оптимальної моделі для прогнозування.

Аналізом та дослідженням економетричних моделей займається наука "економетрика". Як вважає Р. Фрішу, економетрика об'єднує "як чисту економічну теорію, так і статистичну перевірку законів цієї теорії". Тобто: "сутність економетрики – взаємне переплетіння кількісної економетричної теорії та статистичних оцінок" [5]. Оскільки кожна змінна економетричної моделі презентує відповідний статистичний індикатор, що з певною точністю висвітлює відповідний аспект господарчого механізму, розрахунки, проведені на базі такої моделі зазвичай мають достатньо високу практичну цінність. Вони можуть бути використані для вироблення економічної політики держави.

Економетрична модель – модель факторного аналізу, параметри якої оцінюються за допомогою математичної статистики [8]. Можна виділити три основні класи економетричних моделей [6]:

**1. Моделі часових рядів.** До цього класу належать моделі:

• **тренду:**

$$Y_t = T_t + \varepsilon_t, \quad (1)$$

де  $T_t$  – часовий тренд заданого виду (наприклад, лінійний  $T_t = a + b \cdot t$ );

$\varepsilon_t$  – стохастична (випадкова) компонента;

• **сезонності:**

$$Y_t = S_t + \varepsilon_t, \quad (2)$$

де  $S_t$  – періодична (сезонна) компонента;

$\varepsilon_t$  – стохастична (випадкова) компонента;

• **тренду і сезонності:**

$$Y_t = T_t + S_t + \varepsilon_t, \text{ адитивна}; \quad (3)$$

$$Y_t = T_t \cdot S_t + \varepsilon_t, \text{ мультиплікативна}; \quad (4)$$

де  $T_t$  – часовий тренд відповідного виду;

$S_t$  – періодична (сезонна) компонента;

$\varepsilon_t$  – стохастична (випадкова) компонента.

Також до моделей часових рядів належать багато інших, більш складних моделей: моделі адаптивного прогнозу, моделі авторегресії та ко-

взної середньої (ARIMA) та ін. Їх загальною рисою є пояснення часової динаміки показника, виходячи тільки з попередніх значень цього показника. Такі моделі можуть використовуватися для прогнозування обсягів виробництва, обсягів продажу, короткострокового прогнозу та відсоткових ставок тощо.

**2. Регресійні моделі з одним рівнянням.**

В таких моделях залежна змінна  $Y$  представлена у вигляді функції  $f(X, E) = f(x_1, \dots, x_n, \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_m)$ , де  $x_1, \dots, x_n$  – незалежні змінні,  $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_m$  – параметри. Залежно від вигляду функції  $f(X, E)$  моделі можуть бути лінійними та нелінійними.

Застосування таких моделей, навіть лінійних, набагато ширше, ніж моделей часових рядів. Основні проблеми, що виникають при побудові цих моделей – проблеми теорії оцінювання, верифікації, відбору значимих параметрів.

**3. Системи одночасних рівнянь.** Ці моделі описуються системами рівнянь. Системи можуть складатися з тотожностей та регресійних рівнянь, кожне з яких (окрім незалежних змінних) може включати в себе залежні змінні з інших рівнянь системи. В результаті маємо набір залежних змінних, які пов'язані між собою через рівняння системи. Прикладом може слугувати модель Уортона, яка має дуже велику розмірність (уортонівська квартальна модель американської економіки містить більше 1 тис. рівнянь, які повинні бути вирішеними одночасно).

Процес побудови і використання економетричних моделей є досить складним та передбачає наступне:

- 1) після визначення мети дослідження будеться система показників та сортуються фактори, які мають найбільший вплив на кожний показник;
- 2) здійснюється вибір форми зв'язку досліджуваних показників між собою і відібраними факторами, іншими словами, вибір типу економетричної моделі (лінійна, нелінійна, ступенева та ін.);
- 3) вирішуються проблеми збору вихідних даних і аналізу інформації;
- 4) будується економетрична модель, тобто визначаються її параметри;
- 5) перевіряється якість побудованої моделі, у першу чергу її адекватність досліджуваному явищу, після чого модель може бути використана для економічного аналізу і прогнозування.

Варто звернути особливу увагу на побудову системи показників і визначення сукупності факторів, що впливають на кожний з показників.

До факторів, що включаються в економетричну модель, висуваються наступні вимоги:

- включення кожного фактора в модель повинно бути обґрунтоване теоретично;
- доцільно враховувати тільки ті фактори, що впливають на показники, які досліджуються, при цьому рекомендується, щоб кількість факторів, що включаються до моделі, не перевищувала однієї третини від числа спостережень у вибірці (довжини часового ряду) [8];
- між факторами не повинна існувати лінійна залежність, оскільки її наявність буде означати, що вони характеризують вплив однієї і тієї ж по суті причини на показник. Однак ці два фактори можуть бути тісно взаємозалежні, корельовані, отже в модель доцільно включити лише один з них. Включення в модель лінійно залежних факторів призводить до виникнення мультиколінеарності, що негативно впливає на якість моделі;
- в модель рекомендується включати тільки ті фактори, що можуть бути виміряні кількісно;
- в одну модель не слід включати фактор одночасно з утворюючими його частковими факторами. Це призведе до збільшення їх впливу на залежні змінні, що не відповідає реальності і, як наслідок, до перекручування відображення реальної дійсності.

Під час вибору факторів, які впливають на залежні змінні моделі, використовуються статистичні методи відбору. Істотного скорочення числа факторів (внаслідок чого модель буде менш громіздкою) можна досягти за допомогою застосування покрокових процедур відбору змінних. Їх можна застосовувати разом із іншими підходами до вирішення проблеми, наприклад, з експертними методами оцінки значимості факторів. Серед покрокових процедур відбору факторів часто використовуються процедури покрокового включення і виключення факторів.

Розробка економетричних моделей втілює в собі застосування функціонального підходу до опису систем. Економетричні моделі у порівнянні з аналітичними (усі структурні моделі – аналітичні) більш точні і докладні, не вимагають грубих допущень, дозволяють врахувати вплив великої кількості факторів. Основні їх недоліки – для того, щоб бути точними в урахуванні факторів, вони часто громіздкі, не наочні та потребують багато машинного часу при побудові й аналізі.

Моделі лінійної регресії, що описувалися вище, є імовірнісними, параметри рівнянь регресії оцінюються на основі методу найменших квад-

ратів. Отже, для подальшого їх використання необхідно виконати перевірку наближеності оцінок до дійсних значень коефіцієнтів шляхом визначення статистичної значимості коефіцієнтів регресії та близькості розташування фактичних даних до розрахованої лінії регресії. Також можна перевірити гіпотезу щодо коефіцієнтів або визначити для них довірчі інтервали.

Однак при використанні вищезазначених моделей все ж таки виникає ряд проблем, серед яких – визначення функціональної залежності між параметрами рівняння та залежною змінною. Одним із шляхів вирішення проблем є використання аналітичних систем нового типу, які можна використовувати для прогнозування. В їх основі – технології штучного інтелекту, що імітують природні процеси.

Різні типи інтелектуальних систем мають свої особливості, наприклад, за можливостями навчання, узагальнення і досягнення результатів, що робить їх найбільш придатними для вирішення одних класів задач і менш придатними – для вирішення інших.

Наприклад, нейронні мережі гарні для задач розпізнавання образів, але дуже незручні для пояснення, як вони таке розпізнавання здійснюють. Вони можуть автоматично здобувати знання, але процес їхнього навчання найчастіше відбувається досить повільно, а аналіз навченої мережі дуже складний (навчена мережа є, звичайно, чорним ящиком для користувача). При цьому, будь-яку апріорну інформацію (знання експерта) для прискорення процесу її навчання в нейронну мережу ввести неможливо.

Системи з нечіткою логікою, навпаки, гарні для пояснення висновків, отриманих з їх допомогою, але вони не можуть автоматично здобувати знання для використання їх у механізмах висновків. Необхідність розбивки універсальних множин на окремі області, як правило, обмежує кількість вхідних змінних у таких системах невеликим значенням.

Власне кажучи, теоретично системи з нечіткою логікою і штучні нейронні мережі подібні одна до одної, однак, згідно з викладеним вище, на практиці в них є свої власні переваги і недоліки. Розуміння цього лягло в основу створення апарата нечітких нейронних мереж, у яких висновки робляться за допомогою апарата нечіткої логіки, але відповідні функції належності використовують алгоритми навчання нейронних мереж, наприклад, алгоритм зворотнього поширення помилки. Такі системи не тільки використовують апріорну інформацію, але можуть здобувати нові знання, будучи логічно прозорими.

Завдяки своїй унікальній здатності навчатися на прикладах і розпізнавати у потоці зашумленої і суперечливої інформації прикмети раніше зустрінутих образів і ситуацій, нейронні мережі з успіхом використовуються у прогнозуванні та аналізі складних ситуацій. Нечітка логіка дозволяє при побудові системи безпосередньо формувати стратегії рішення.

Апарат нечітких множин і нечіткої логіки вже давно з успіхом застосовується для вирішення задач, вихідні дані яких є ненадійними і слабо формалізованими. Перевагами такого підходу є:

- універсальність: відповідно до теореми FAT (Fuzzy Approximation Theorem), доведеної Б. Коско (B. Kosko) у 1993 р., будь-яка математична система може бути апроксимованою системою, заснованою на нечіткій логіці;
- ефективність (пов'язана з універсальністю), що підтверджується рядом теорем [4], що аналогічні теоремам про повноту для штучних нейронних мереж, наприклад, теоремою виду: для кожної дійсної безперервної функції  $g$ , заданої на компактї  $U$ , і для довільного  $\varepsilon > 0$  існує нечітка експертна система, що формує вихідну функцію  $f(x)$  таку, як:

$$\sup_{x \in U} \|g(x) - f(x)\| \leq \varepsilon,$$

де  $\|g(x) - f(x)\|$  – символ взятої відстані між функціями;

- опис умов і методу рішення задачі робиться мовою, близькою до природної.

Разом з тим, для цих систем характерними є і певні недоліки:

- вихідний набір нечітких правил формулюється експертом-людиною і може виявитися неповним чи суперечливим;
- вигляд і параметри функцій належності, що описують вхідні і вихідні змінні системи, вибираються суб'єктивно, і можуть виявитися такими, що не цілком відображають реальну дійсність.

Для усунення, принаймні частково, зазначених недоліків пропонується створювати нечіткі системи адаптивними, коректуючи в процесі їхньої роботи правила і параметри функцій належності. Одними з найбільш вдалих прикладів таких систем є нечіткі нейронні мережі. Нечітка нейронна мережа формально за структурою ідентична багатопшаровій нейронній мережі з навчанням, наприклад, за алгоритмом зворотного поширення помилки, але сховані шари в ній відповідають етапам функціонування нечіткої системи:

- перший шар нейронів виконує функцію введення нечіткості (fuzzification) на основі заданих функцій належності входів;
- другий шар відображає сукупність нечітких правил;
- третій шар виконує функцію приведення до чіткості (defuzzification).

Кожен з цих шарів характеризується набором параметрів (функціями належності, нечіткими вирішальними правилами рішення, активаційними функціями, вагами зв'язків), настроювання яких виконується, по суті, так само, як і для звичайних нейронних мереж.

Мабуть, найбільш вражаючою властивістю людського інтелекту є здатність приймати правильні рішення в обставинах неповної і нечіткої інформації. Побудова моделей, наближених до міркувань людини, і використання їх в інтелектуальних комп'ютерних системах є на сьогодні одним з найперспективніших напрямків розвитку сучасної науки.

Загалом, системи з нечіткою логікою доцільно застосовувати в наступних випадках:

- для складних процесів, якщо не існує простої математичної моделі;
- якщо експертні знання про об'єкт чи процес можна сформулювати тільки в лінгвістичній формі.

Системи, що базуються на нечіткій логіці, нецільно застосовувати:

- якщо необхідний результат можна отримати будь-яким іншим (стандартним) шляхом;
- коли для об'єкта або процесу вже знайдена адекватна і легко досліджувана математична модель.

**Висновки.** Економіка – складний, динамічний та багатовимірний об'єкт. Часові ряди для аналізу невеликі, різнорідні та нестаціонарні, вони залежать від часу та один від одного. Емпіричної інформації для вивчення зазвичай недостатньо. Економічні показники вимірюються неточно, підвержені подальшим уточненням, а деякі з них не вимірюються зовсім. Окрім того, з часом змінюються й самі економічні теорії. Саме за таких складних умов необхідно проводити економічну політику. В цьому випадку необмірковане та науково не обгрунтоване рішення може призвести до тяжких наслідків. Використання математичних моделей дозволяє здійснити попередній вибір оптимальних або близьких до них варіантів рішень.

Економетричні моделі – інструментарій, який широко використовується для прогнозування в усьому світі. Однак економічні процеси, що відбуваються в країнах з перехідною економікою,

викликають значні труднощі при спробі їх точного математичного опису. Виходячи з цього, для прогнозування економічних показників виявилася перспективною розробка нейронних мереж з нечіткою логікою. Нечітка логіка дозволяє при побудові системи безпосередньо формувати стратегії рішення та надає ефективні засоби відображення невизначеностей і неточностей реального світу. Вона ближче до людського мислення і природних мов, ніж традиційні логічні системи. Взавши до уваги надійність функціонування нейронних мереж, можна припустити, що нейронні мережі з нечіткою логікою будуть широко застосовуватися в моделюванні і прогнозуванні економічних процесів у перехідній економіці, де класичні методи неефективні. Однак, слід мати на увазі, що далеко не в усіх випадках дані, отримані в результаті економіко-математичного моделювання, можна використовувати безпосередньо як вже готові рішення. Швидше, вони можуть розглядатися як “консультуючі засоби”. Економіко-математичне моделювання є компонентом в системах планування та управління економічними системами, тоді як прийняття політичних рішень залишається за людиною.

### *Список літератури*

1. Вертаков Ю.В., Кузьбожев Э.Н. Упреждающее управление на основе информационных технологий: Учеб. пособие. – Курск, 2001. – 152 с.
2. Данилов Н.Н., Иноземцева Л.П. Основы математической экономики. – Кемеровский государственный университет. Кафедра математической кибернетики. – 1999. – § 9.1 // <http://www.math.kemsu.ru/kafedr/kiber/matecon>.
3. Кильдишев Г.С., Френкель А.А. “Анализ временных рядов и прогнозирование”. – М., Статистика, 1973. – 112 с.
4. Круглов В.В. Борисов В.В. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования. – М., Горячая линия Телеком, 2001. – 458 с.
5. Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. В 2 т. Т. 2. – Москва, Прогресс, 1992. – 604 с.
6. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс: Учеб. пособие. 2-е изд., испр. – М., Дело, 1998. – 145 с.
7. Солодовников А.С., Бабайцев В.А., Браилов А.В. Математика в экономике: Учебник. В 3-х ч. Ч.1. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 157 с.
8. Экономико-математические методы и прикладные модели: Учеб. пособие для ВУЗов / Под. ред. Федосеева В.В. – М., ЮНИТИ, 1999. – 263 с.

### *Summary*

The article studies the necessity of the use of intellectual systems of decision-making in the forecasting of economic indicators. This approach is compared with other types of mathematical models.