

зниження ризикованості та стабілізації піднесення аграрного виробництва на підґрунті аналітико-лінгвістичного аналізу нечітких умов діяльності сільськогосподарських товаровиробників з метою виявлення їх резервів в області економії витрат, завоювання нових ринків і підвищення конкурентоспроможності. У контексті розвитку екологічного менеджменту запропонована модель поширення екологізованих аграрних інновацій узгоджується з управлінськими підходами, спрямованими на ефективне використання природних ресурсів сільськогосподарського призначення на регіональному й державному рівнях і збереження українських природних багатств в інтересах майбутніх поколінь.

До намічених математичних перспектив наукових розробок за тематикою роботи можна зарахувати порівняння ефективності застосування в описаннях термів різних функцій належності та деталізацію процедури завдання якісних рівнів для вхідних і вихідних змінних задачі. З економічного погляду видається доцільним розповсюдити створену модель упорядкування інноваційної діяльності в аграрній сфері і на реципієнтів новітніх сільськогосподарських технологій, що сприятиме двобічному вдосконаленню модернізації вітчизняного аграрного виробництва.

Література

1. Бабина Ю.В., Варфоломеева Э.А. Экологический менеджмент. – М.: ИД "Социальные отношения", Изд-во "Перспектива", 2002. – 207 с.
2. Пахомова Н.В., Эндрес А., Рихтер К. Экологический менеджмент. – СПб.: Питер, 2003. – 544 с.
3. Макаренко П.М. Моделі аграрної економіки. – К.: ННЦ ІАЕ, 2005. – 682 с.
4. Екологічний менеджмент/ За ред. В.Ф. Семенова, О.Л. Михайлюк – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 407 с.
5. Васильєва Н.К. Напрями аналізу інвестиційного стану інноваційної модернізації аграрних технологій регіону// Наук. вісник Полтавського НТУ: Економіка і регіон. – 2005. – № 1. – С. 100-102.
6. Митюшкин Ю.И., Мокин Б.И., Ротштейн А.П. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2002. – 145 с.
7. Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях/ Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 312 с.
8. Зайченко Ю.П. Основи проектування інтелектуальних систем. – К.: Вид. дім "Слово", 2004. – 352 с.

УДК 004.8:330.322

Доц. Л.Д. Загвойська, канд. екон. наук;
магістрант О.І. Пастернак – НЛТУ України

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОБЛЕМ

Складність еколого-економічних систем зумовлює пошук нових підходів до їх аналізу і прогнозування. Одним із найпрогресивніших і найперспективніших інструментів аналізу інвестиційних проектів з урахуванням їхнього впливу на довкілля є засоби штучного інтелекту.

Ключові слова: штучний інтелект, нечітка логіка, еколого-економічні проблеми, інвестиційні проекти.

*Doc. L.D. Zahvoyska;
post graduate student O.I. Pasternak – NUFWT of Ukraine*

Solving Ecological and Economic Problems using Artificial Intelligence Technologies

Complicated character of ecological and economic systems makes us to look for new methods for their analysis and forecasting. Artificial intelligence technologies are the most progressive and much promising tool for analyzing investment projects taking their environmental impacts into consideration.

Keywords: artificial intelligence, fuzzy logic, ecological and economic problems, investment projects.

Складність аналізу, а тим більше прогнозування екологічних та економічних процесів, явищ і подій зумовлена яскраво вираженими особливостями еколого-економічних систем. З одного боку, ми маємо справу з необхідністю врахування людського чинника, який, зазвичай, є неконтрольованим, непередбачуваним, а подекуди і нелогічним. Саме тому результати певних дій часто не збігаються із прогнозованими показниками. З іншого боку – предметом дослідження є екологічні системи, які мають певну кількість варіантів розвитку (атракторів). Кожен атрактор є стабільним і розвивається згідно з відповідними законами природи. Проте не завжди те, що прийнятне для стабільної екологічної системи, є бажаним для людини – іноді перехід на новий напрям (варіант) розвитку є неприйнятним для людини як біологічної істоти. Оскільки системи є хаотичними, порівняно невеликі зміни вхідних параметрів можуть призвести до серйозних наслідків. Власне для того, щоб екологічна система не перейшла на інший, згубний для людини атрактор, необхідним є обмеження певних шкідливих наслідків людської діяльності – забруднення навколишнього середовища, виснаження природних ресурсів і зменшення біорізноманіття. З цією метою встановлюють відповідні норми і ліміти забруднення, використання природних ресурсів.

Таким чином, під час аналізу таких складних систем виникає питання – наскільки істотний стан (існуючий на даний час) відрізняється від бажаного (нормативного)? Наприклад, з точки зору збереження якості довкілля важливим є низьке забруднення або його повна відсутність, що є майже неможливим. Для контролю за забрудненням встановлюють певні норми гранично допустимої концентрації. Проте, чи можна вважати умовно брудним повітря, концентрація забруднюючої речовини в якому тимчасово перевищує встановлені норми на 0,5-1,0 %?

Така ж ситуація виникає і щодо економічних показників. Високий прибуток, низький рівень інфляції, середній рівень ризику – це доволі умовні величини, які для різних людей і в різних умовах матимуть різні значення.

Формалізувати дані величини доволі важко, адже складність полягає не тільки у визначенні числового еквівалента для "багато" чи "мало", але й у визначенні чи належить той чи інший елемент сукупності до "багато" ("мало") та якою мірою.

Штучний інтелект: його історія та розвиток

Штучний інтелект можна визначити як область комп'ютерної науки, яка займається відтворенням розумної поведінки засобами комп'ютерних тех-

нологій, і базується на її теоретичних і прикладних принципах [1]. Ці принципи зводяться до структур даних, які використовують для представлення знань, алгоритмів їх застосування, а також відповідних мов і методик програмування.

Проте, дане визначення штучного інтелекту має вагомий недолік – саме поняття "інтелект" є доволі нечітким і розмитим. Більшість із нас впевнені, що зможуть відрізнити "розумну поведінку" тоді, коли зіткнуться із нею. Однак, сумнівно, що хто-небудь зможе дати інтелекту визначення, достатньо конкретне для оцінки комп'ютерної програми, яка вважається розумною, і водночас таке, яке відображає життєздатність і складність людського розуму.

Таким чином, проблема визначення штучного інтелекту зводиться до проблеми визначення інтелекту взагалі: є інтелект чимось єдиним, чи цей термін об'єднує набір різних властивостей? Якою мірою інтелект можна створити, а якою він існує апіорі? Чи можна робити висновки про наявність інтелекту тільки на основі спостережень за поведінкою, чи необхідним є усвідомлення наявності деякого прихованого механізму? Чи є необхідним створення інтелектуальної комп'ютерної програми, яка буде аналогом людського розуму, чи достатньо строгого "інженерного" підходу? Чи можливо взагалі досягнути розумності за допомогою комп'ютерної техніки, чи сутність інтелекту вимагає багатства почуттів і досвіду, які притаманні тільки біологічним істотам [1]?

Як видно, існує доволі серйозна проблема щодо визначення штучного інтелекту, яка виникає через специфіку проблем і цілей. Тому ми будемо користуватись визначенням штучного інтелекту як спектра проблем і методик, які вивчають розробники систем штучного інтелекту.

Потужним підґрунтям для майбутнього розвитку штучного інтелекту стали розвиток логіки та формалізація науки, зокрема математики. До кінця 1940-х років електронні цифрові машини продемонстрували свої можливості у представленні пам'яті та процесорної потужності, необхідної для інтелектуальних програм. Таким чином, стали можливими реалізація формальних систем мислення в машинах та емпіричні випробування їх достатності для проявів розумності. Архітектура цифрових комп'ютерів нашо́вхує на специфічне уявлення про інтелект як спосіб опрацювання інформації. Наприклад, концепція пошуку як методу вирішення задач зобов'язана своєю появою більшою мірою послідовному характеру комп'ютерних операцій, аніж якійсь біологічній моделі інтелекту. Більшість програм штучного інтелекту формалізують знання певною комп'ютерною мовою, а потім опрацьовують їх відповідно до алгоритмів.

На даному етапі розвитку штучного інтелекту найпрогресивнішими інструментами вважають: нечітку логіку, генетичні алгоритми, нейронні мережі, а також самонавчання програмних продуктів [1].

Нечітка логіка як інструмент штучного інтелекту

Нечіткі системи, як і генетичні алгоритми та нейромережі, доповнюють класичні експертні системи, які вважають одним із головних напрямів штучного інтелекту. Теоретичні основи цього методу закладені вченими, котрі проводять дослідження в області "*Soft Computing*" – галузі інформатики,

що займається так званими м'якими розрахунками, для яких притаманна неповнота і/та неточність даних. Дослідження у сфері нечіткої логіки (*Fuzzy Logic*) привели до створення нечітких множин (*Fuzzy Sets*), які мають різнобічне практичне застосування.

Потреба в засобах адекватного опису понять і явищ, які мають багатозначний і неточний характер, оптимізації управління нечіткими процесами спричинилася до виникнення теорії нечітких множин. Відомі до цього математичні методи, які використовували класичну теорію множин і булеву (двійкову) логіку, не давали змоги вирішувати проблеми такого типу [3]. Згідно з аксіомою, яка лежить в основі класичної теорії множин, елемент або належить множині, або не належить їй, третього, альтернативного рішення немає. Це часто робить дану теорію просто нерелевантною для застосування в реальних задачах, в яких застосовують нечіткі оцінки – "високий прибуток", "помірну температуру", "високий тиск", "безпечні умови", "чисте повітря". На жаль, такі висловлювання не можуть бути адекватно формалізовані за допомогою звичайних математичних методів.

Якщо ми хочемо врахувати точне значення нечіткого терміну, то чіткий поділ елементів (наприклад, значення прибутку) на ті, які належать до множини "високий", і ті, які не належать даній множині, буде штучним. Така ситуація виникає тому, що деякі значення можуть сприйматись як "високий прибуток з деякою натяжкою", "не зовсім високий прибуток", "не надто низький прибуток" тощо.

Спробу розвитку формального апарату для врахування часткової належності в теорії множин було здійснено в середині 60-х років XX ст. Л. Заде. Він увів поняття нечіткої множини як сукупності елементів, які можуть належати даній множині зі ступенем ймовірності від 0 до 1. При цьому 0 означає, що елемент абсолютно не належить множині, а 1 – абсолютно належить. Це було зроблено шляхом застосування поняття функції належності, яка ставить у відповідність кожному елементу універсальної множини число з інтервалу $[0,1]$, яке означає ступінь належності [2].

Нечітка логіка є важливим і потужним інструментом штучного інтелекту, оскільки вона дає змогу опрацьовувати не тільки числову інформацію, а й лінгвістичну (або якісну), яка надходить від експертів.

Нечітка логіка як інструмент для прийняття інвестиційних рішень

Для спрямування економічної діяльності в русло виважених довгострокових рішень важливим є планування інвестиційних проектів як на різних рівнях державних структур і організацій, так і у фінансових установах. Обраний проект повинен бути оціненим експертом, не суперечити державній політиці, а також підтриманим політичними партіями та їх представниками у владних структурах. Рішення, знайдене за допомогою загальної моделі ранжування проектів та апарату нечіткої логіки у процесі пошуку оптимальної стратегії вибору варіантів інвестування, дає змогу поєднати вимоги експертів і політиків щодо інвестиційного проекту, врахувати суперечливі уподобання численних стейкхолдерів.

У загальному випадку інвестиційні проєкти вважають прийнятними, якщо вони:

- добре підготовлені і підкріплені розрахунками, виконаними за реальними даними з урахуванням чинника часу, а також аналізом економічних впливів (наприклад, використання аналізу вигід і витрат); окрім цього, враховують підготовленість проєкту з точки зору можливості його реалізації;
- фінансово здійсненні;
- підтримуються політичними партіями та їх представниками у владних структурах;
- підтримуються населенням, чи хоча б не викликають його спротиву [5].

Розглянемо приклад вирішення найпростішої задачі оцінки інвестиційного проєкту у термах двох змінних: "дохідність" та "інвестиція" (вкладення коштів у проєкт).

Аналізуючи економічну ефективність інвестиційних проєктів з точки зору суспільства, можна виділити чотири типи проєктів (відповідно до класифікації еколого-економічних ефектів проф. Ю.Ю. Туниці [4]):

- збиткові ($E_x E + E_y E < 0$; $E_x E < 0$; $E_y E < 0$)¹;
- економічно прийнятні ($E_y E + E_x E > 0$; $E_x E < 0$; $E_y E > 0$);
- екологічно прийнятні ($E_y E + E_x E > 0$; $E_x E > 0$; $E_y E < 0$);
- прибуткові ($E_y E + E_x E > 0$; $E_y E > 0$; $E_x E > 0$).

Оскільки в даній роботі економічний ефект розглядається як взаємозалежний і взаємодоповнювальний елемент екологічного ефекту (і навпаки), то дохідність проєкту розглянемо у двох аспектах:

- проєкт збитковий ($E_x E + E_y E < 0$; $E_x E < 0$; $E_y E < 0$);
- проєкт прибутковий ($E_y E + E_x E > 0$; $E_y E > 0$; $E_x E > 0$).

При цьому для прибуткового проєкту дохідність може набувати значення "низька", "середня", "висока". На практиці в аналізі інвестиційного проєкту цим термам будуть відповідати певні числові діапазони, наприклад, збитки (дохідність < 0), низька ($0 < \text{дохідність} < 10$ тис. грошових одиниць), середня ($10 \text{ тис.г.о.} < \text{дохідність} < 50 \text{ тис.г.о.}$), висока (дохідність $> 50 \text{ тис.г.о.}$) (рис. 1).

Терм "збитки", як нечітка множина, має свою специфіку: жодне значення цього терму за визначенням не може приймати додатних значень, тому цей терм не перетинається із сусіднім термом "низька дохідність". На рис. 1 зображено нормоване ранжування дохідності проєкту з лінійним обмеженням, хоча для більш ґрунтовних досліджень обох цих умов можна і не дотримуватись.

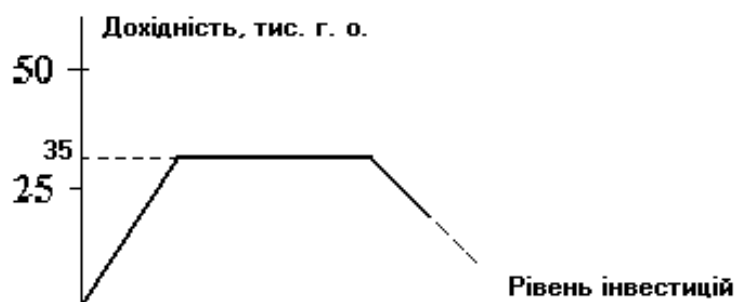


Рис. 1. Варіант інвестування

¹ $E_x E$, $E_y E$ – екологічний ефект, економічний ефект відповідно.

Розглянемо лінгвістичну змінну "інвестиції". Визначимо її рівень термами: "низький, середній, високий, дуже високий". Тепер маємо повністю визначену задачу – модель нечіткої логіки. На вхід моделі подаються терми, які визначають рівень капіталовкладень: (низький, середній, високий, дуже високий), а на виході отримуємо дохідність у термах (збитки, низька, середня, висока). Формулювання задачі у такому вигляді придатне для двох режимів: оцінки інвестиційної привабливості проекту та управління діючим проектом. Від вибраного режиму буде залежати алгоритм розв'язку.

Нехай потрібно змоделювати перший режим. Тут важливою буде обрана стратегія, яка залежить від зовнішніх чинників. Наприклад, стратегія може полягати у тому, що зі зростанням інвестицій у проект його дохідність завжди зростає (лінійно або нелінійно). Може бути й інша стратегія. До деякої величини капіталовкладень дохідність зростає, потім у певному діапазоні інвестицій вона залишається майже незмінною і далі при збільшенні інвестицій дохідність спадає. Ще може бути проект з пороговою дохідністю – точка беззбитковості досягається тільки при певному рівні інвестицій; після цієї точки дохідність різко зростає і далі залишається майже незмінною. Усі ці стратегії мають реальний економічний зміст і часто трапляються на практиці.

Проаналізуємо проект за стратегією, графік якої наведено на рис. 1. Ця стратегія виправдана, наприклад, при обмеженій можливості освоєння додаткових капіталовкладень. Розв'язок такої задачі методами нечіткої логіки полягатиме у знаходженні відповіді на запитання: як сформувати оптимальний інвестиційний портфель?

На перший погляд може видатись, що для ситуації, зображеної на рис. 1, відповідь очевидна: щоб дохідність була максимальна і стабільна, у проект необхідно вкласти 35 тис.г.о., не більше і не менше. Така відповідь була б дійсно правильною у тому випадку, коли залежність на графіку була б повністю детермінованою, чого в реальному житті ніколи не буває. Не треба забувати, що графік має тільки оцінковий характер, і в процесі інвестування обов'язково будуть *fuzzy*-відхилення і чинники, які ми наперед урахувати не можемо, тому і застосовуємо не традиційну, а нечітку математику.

Точніший розв'язок задачі отримуємо за матрицею нечітких правил інвестування, яка має згорнутий вигляд (рис. 2).

У розгорнутому вигляді кожен елемент (комірка) матриці нечітких правил є деталізацією відповідної стратегії. Максимальний рівень деталізації визначається експертною оцінкою умов інвестування, яку можна описати з використанням рангів достовірності.

Після цього у термінах нечіткої логіки записують лінгвістичні правила для кожного з можливих варіантів розвитку обраної стратегії і кожен варіант ранжується. Варіанти порівнюють за значеннями функції рангів і з них вибирають оптимальний. На рис. 2 такий варіант позначено ламаною лінією 1-2-3-4-5-6-7. Оптимальний варіант стратегії дефазифікують і отримують розв'язок задачі в числах, наприклад, графік оптимальних інвестицій. Незважаючи на те, що нечітку модель задачі інвестування було наведено в максимально спрощеному вигляді, вона добре відображає логіку практичного застосування нечітких методів.

Еколого-економічний ефект	високий	Збільшити	Без змін	Зменшити	Різно змінити
	середній	Збільшити	Збільшити	Зменшити	Різно змінити
	низький	Різно збільшити	Збільшити	Різно змінити	Різно змінити
	збитковий	Різно збільшити	Різно збільшити	Різно змінити	Різно змінити
		низький	середній	високий	дуже високий

Рівень інвестицій

Рис. 2. Матриця нечітких правил інвестування

У такому спрощеному варіанті дану задачу традиційно розв'язують стохастичними методами. Порівняння обох підходів показало, що для спрощених варіантів оцінки інвестиційних проектів жоден з підходів не матиме істотних переваг ні у точності, ні щодо швидкодії. Але оцінка інвестиційної привабливості реальних проектів є значно складнішою задачею. Достатньо сказати, що матриця нечітких правил у такому випадку буде не двовимірною, як у попередній задачі, а багатовимірною і варіанти будуть ламаними лініями на гіперкубі. Працювати з такими громіздкими наборами нечітких правил може тільки спеціальна комп'ютерна програма [6].

Використання нечіткої логіки дає реальніший і чутливіший інструмент моделювання, який може бути реалізований засобами сучасного програмного забезпечення, що є надзвичайно практичним з огляду на універсальність застосування цього інструменту. Особливо важливою є можливість генерування декількох варіантів нечітких функцій для подальшого відбору найкращого. Також нечітка модель дає змогу отримати загальне уявлення про взаємозв'язки змінних.

З описаних вище положень можна зробити такі висновки:

- метод нечіткої логіки дуже зручний для підготування і вибору варіанта інвестиційного проекту, оскільки він знижує ризик відхилення найкращого варіанта або ризик того, що його реалізація буде неуспішною;
- застосування нечіткої логіки дає змогу поєднати вимоги різних стейкхолдерів стосовно інвестиційного проекту;
- цей метод спонукає заглибитись у розроблену модель через застосування зважених критеріїв і (або) оцінок [5].

Сфера застосування нечіткої логіки є надзвичайно широкою – економіка, екологія, медицина, техніка, сфера обслуговування тощо. Особливої уваги заслуговує використання даного методу в еколого-економічній сфері, яка характеризується високою динамічністю, стохастичністю і комплексністю.

Література

1. Люгер, Д. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание/ Пер. с англ. – М.: Изд. дом "Вильямс", 2003. – 864 с.
2. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 1999. – 462 с.
3. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы/ Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 464 с.
4. Туниця Ю.Ю. Екологічна Конституція Землі. Ідея. Концепція. Проблеми. – Львів: Вид. ц. Львівського НУ ім. Івана Франка, 2002. – 264 с.
5. Devjak S., Benčina J. Appraising Investment Projects in Public Administration with Fuzzy Logic// Proceedings of the 7th International Symposium on Operational Research SOR'03 in Slovenia, Podčetrtek, September 24-26, 2003.
6. Інтелектуальні технології DATA MINING: Нечітка математика. [Цит. 07.11.2005 р.]. – Доступно з: <www.zlet.lviv.ua>.

*Уільям Кітон, Аустін Трой – факультет довкілля і природних ресурсів
ім. Рубенштейна, Університет Вермонту, США*

ПОЄДНАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ І ЕКОНОМІЧНИХ ЦІЛЕЙ У КОНТЕКСТІ ФОРМУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТИГЛИХ ЛІСІВ

Дослідження, нещодавно проведені у США та Канаді, присвячені методам сталого ведення лісового господарства, які підтримують біологічну різноманітність і функціонування екосистем у лісових ландшафтах, охоплених господарською діяльністю. Ці дослідження торкаються питань ведення лісового господарства в регіоні поширення північних твердолистяних лісів, структура яких сьогодні значно простіша, ніж та, яка була в умовах до європейського поселення. Однією з можливостей її збагачення є модифікація лісівничих методів, які використовують для формування різновікових деревостанів шляхом кращого врахування збурювальних впливів, притаманних природним процесам.

Неперевірена ще гіпотеза полягає в тому, що ці підходи прискорять темпи пізньо-сукцесійного розвитку і відповідні екологічні функції, а також забезпечать економічну ефективність лісозаготівель низької інтенсивності. Ми тестуємо цю гіпотезу, використовуючи варіант різновікового деревостану, вживаючи термін "збагачення структурної комплексності" (SCE), який описує структурні характеристики стиглого деревостану. Порівняно з двома традиційними системами менеджменту (вибіркові рубання з вибором окремих дерев і групово-вибіркові рубання), цей підхід модифікований з метою підвищити здатність збереження власної структури насаджень після проведення лісозаготівлі.

Дослідження повторено у двох стиглих твердолистяних насадженнях північних лісів у штаті Вермонт (США). Ділянки, на яких здійснювали експерименти, і контрольні ділянки займали площу 2 га. Заходи на ділянках різновікових насаджень були повторені двічі. На ділянках із доглядом SCE та контрольних ділянках – повторені 4 рази. Структурні цілі SCE охоплюють формування багаторусного намету в насадженнях, збільшення кількості великих відмерлих дерев і дерев, які лежать на землі, варіабельної горизонтальної повноти та переміщення до вищої ступені діаметра за сумою площ поперечних перетинів дерев.