

19. Дубовиков М.М. Индекс вариации и его приложение к анализу фрактальных структур / М.М. Дубовиков, Н.В. Старченко // Научный альманах «Гордон». — М.: Изд-во «Поматур», 2005. — С. 5—32.

20. Галіцин В.К. Системи моніторингу [монографія] / В.К.Галіцин. — К.: КНЕУ, 2000. — 232 с.

21. Максишко Н.К. Анализ и прогнозирование эволюции экономических систем / Н.К. Максишко, В.А. Перепелица. — Запорожье: Полиграф, 2006. — 248 с.

22. Максишко Н.К. Моделювання економіки методами дискретної нелінійної динаміки [монографія / наук. ред. проф. В.О. Перепелиця] / Н.К. Максишко. — Запоріжжя: Поліграф, 2009. — 416 с.

УДК 519.865.7

О. Д. Шарапов, канд. екон. наук, професор

А. В. Матвійчик, д-р екон. наук, доцент

ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»

НА ШЛЯХУ ДО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

АНОТАЦІЯ. У статті наводяться результати дослідження філософського та технологічного аспектів створення систем штучного інтелекту. Розкрито різні підходи до конструювання інтелектуальних систем та показано місце нейро-нечітких технологій у цьому процесі.

ANNOTATION. There are presented in the article the results of researches of philosophy and technological aspects of building of artificial intelligence systems. It's shown various approaches to construction of intelligent systems and pointed the place of neural-fuzzy technologies in this process.

КЛЮЧОВІ СЛОВА. Штучний інтелект, системи сильного/слабкого штучного інтелекту, нечітка логіка, нейронні мережі.

Головним завданням штучного інтелекту (artificial intelligence) є комп'ютерне вирішення когнітивних задач, властивих людському мозку. Такі задачі традиційно вирішуються людьми в умовах неповноти, неточності та суперечливості знань про об'єкт дослідження, для розв'язання яких немає чітко заданого алгоритму.

При цьому в більшості визначень терміну «штучний інтелект» вказується на можливість застосування при його реалізації методів, які не обов'язково біологічно правдоподібні. Значна кількість дослідників у галузі штучного інтелекту реалізують його із залученням різноманітного математичного інструментарію, починаючи з елементарних методів теорії ймовірностей.

З таких позицій інтелектуальною можна назвати будь-яку комп'ютерну систему, здатну, наприклад, із прийнятною точністю розпізнавати графічні зображення, незалежно від математичного інструментарію, покладеного в її основу. При цьому розпізнавання може бути як звичайне по пікселях у растровому представленні, так і шляхом перетворення у полярну систему координат або розкладу зображення в спектральну форму.

Чи можна назвати такі системи інтелектуальними? Більшість дослідників штучного інтелекту, напевно, нададуть схвальну відповідь на це запитання. І це може бути пояснено використанням ними подібного інструментарію без спроб переходу в область біологічної правдоподібності.

Дослідження ж у галузі нейробіології свідчать, що у мозку живих істот формуються групи нейронів, відповідальні за розпізнавання окремо горизонтальних, вертикальних ліній, дуг різної кривизни і так далі. Тобто, у мозку не відбувається нічого подібного на зразок до розпізнавання зображень по точках або їх перетворення в спектральну форму. Зважаючи на те, що природа знайшла можливість з легкістю розпізнавати та ідентифікувати найбільш складні об'єкти, є сенс повчитися в неї та взяти готові рішення живого світу. Зрештою, сам інтелект також походить із живої природи.

Зазначимо, що комп'ютерні системи розпізнавання образів, які ґрунтуються на векторизації графічних об'єктів з наступною їх ідентифікацією (за аналогією з мозком живих істот) показали найбільшу ефективність у порівнянні з альтернативними системами [1]. Крім того, вони виявились інваріантними до обертання розпізнаваного об'єкта, його освітленості, віддаленості тощо, чим не могли похвалитися інші системи, іменовані інтелектуальними.

Дискусії відносно того, які штучні системи можна вважати інтелектуальними, ведуться ще з перших спроб їх створення. Перший тест перевірки систем на інтелектуальність був запропонований ще у 1950 році Аланом Тьюрингом [2]. Стандартна інтерпретація тесту Тьюринга звучить так: «Суддя взаємодіє з одним комп'ютером і однією людиною. На підставі відповідей на запитання він повинен визначити, з ким він розмовляє: з людиною або комп'ютерною програмою. Завдання комп'ютерної програми — ввести суддю в оману, змусивши зробити невірний вибір». При цьому всі учасники тесту не бачать один одного. Якщо суддя не може однозначно сказати, хто із співрозмовників є людиною, то вважається, що машина пройшла тест.

Щоб протестувати саме інтелект машини, а не її можливість розпізнавати усне мовлення, бесіда ведеться тільки у текстовому

режимі, наприклад, за допомогою клавіатури та комп'ютера-посередника. Відповіді на запитання даються через визначені проміжки часу, щоб суддя не міг робити висновки, виходячи зі швидкості відповідей. У часи Тьюринга комп'ютери реагували повільніше за людину, зараз це правило необхідно, оскільки вони надають відповідь значно швидше, ніж людина.

Однак з приводу коректності тесту Тьюринга існує безліч критичних зауважень. Так, деяка розумна поведінка не властива людині. Крім того, тест Тьюринга не перевіряє високоінтелектуальні дії, наприклад, здатність вирішувати складні завдання або висувати оригінальні ідеї. Також подібний тест не здатний класифікувати описану вище задачу розпізнавання образів як інтелектуальну.

За великим рахунком, тест провокує машину обманювати: якою розвинутою не була б машина, вона повинна прикидатись не надто розумною, щоб пройти тест (деякі розробники для проходження тесту Тьюринга примусово навчали власні комп'ютерні системи допускати граматичні помилки). Якщо ж машина здатна швидко вирішити якусь розрахункову задачу, непосильну для людини, вона за визначенням провалить тест.

Тест Тьюринга явно біхевіористичний або функціоналістичний: він лише перевіряє, як діє суб'єкт. Машина, що проходить тест, може імітувати поведінку людини в розмові, механічно (неінтелектуально) дотримуючись заздалегідь встановлених правил. Так, відомий уявний експеримент Джона Сьорля «китайська кімната» [3] ілюструє, що елементарне виконання заздалегідь запрограмованих правил одержання відповідей на задані питання дозволяє пройти тест Тьюринга. При цьому подібні алгоритми жодним чином не можна назвати інтелектуальними. Вони тільки імітують процес прийняття рішень людиною, але не здатні узагальнювати та отримувати які-небудь уроки для їх застосування у майбутньому.

Подібне розуміння штучного інтелекту згідно з концепцією Тьюринга Джоном Сьорлем було охарактеризовано як слабкий штучний інтелект. Він же ввів поняття сильного штучного інтелекту, що може бути реалізований програмою, яка є не просто моделлю розуму, вона в буквальному значенні слова сама і буде розумом, у тому ж змісті, у якому людський розум — це розум [4, с. 26].

Прогрес у когнітології (науці про знання, що вивчає методи та прийоми одержання, обробки, зберігання та використання людських знань), який спостерігається сьогодні, дає підстави припустити можливість пояснення та опису когнітивних процесів у моз-

ку людини, відповідальних за вищу нервову діяльність. Осмислення процесів мозкової діяльності дозволить створити підґрунтя для побудови систем сильного штучного інтелекту, яким буде притаманна здатність до самостійного навчання, творчості, вільного спілкування з людиною.

Вивчення структури мозку та осмислення процесів, що протікають у ньому, дозволило сформулювати на сьогодні два можливих загальних підходи до побудови систем штучного інтелекту: 1) семіотичний, що передбачає створення символічних моделей штучного інтелекту за принципом «зверху донизу» (top-down) шляхом побудови експертних систем, баз знань і систем логічного висновку, які імітують високорівневі психічні процеси: мислення, міркування, мову, емоції, творчість тощо; 2) біологічний, що припускає створення паралельних розподілених процесорів із природною здатністю до навчання та роботи за принципом «знизу догори» (bottom-up), в основі якого лежить вивчення нейронних мереж і еволюційних обчислень, які моделюють інтелектуальну поведінку на основі більш дрібних «неінтелектуальних» елементів.

Таким чином, одним із головних напрямків досліджень в області створення систем штучного інтелекту, який сьогодні активно розвивається, є конструювання мозкоподібних архітектур. Ґрунтуючись на принципах функціонування біологічної нервової системи, у штучних нейронних мережах різного типу реалізовані ті чи інші аспекти видобування, обробки, зберігання та використання інформації на зразок до процесів, що відбуваються у мозку. Наприклад, нейронні мережі органічно підходять для реалізації описаного вище алгоритму ідентифікації образів, які у поєднанні із зазначеною математикою (векторизацією об'єктів і виділенням характеристичних ознак) здатні правдоподібно реалізувати біологічний прототип системи розпізнавання зображень.

Концепція обробки інформації в нейронних мережах походить із принципу паралелізму, що є основою їхньої гнучкості. Причому паралелізм може бути масовим (сотні тисяч нейронів та більше), що надає нейронним мережам особливу форму робастності (стійкість до грубих зовнішніх впливів із суттєвою невизначеністю). Якщо обчислювальні процеси розподілені між великою кількістю нейронів, тоді майже неважливо, що стан окремих нейронів мережі відрізняється від очікуваного. Викривлений або неповний вхідний сигнал так чи інакше можна розпізнати; ушкоджена мережа може продовжувати виконувати свої функції на задовільному рівні, а навчання не обов'язково повинно бути максимально

точним. Продуктивність мережі в межах деякого діапазону знижується досить повільно. Крім того, можна додатково підвищити робастність мережі, представляючи кожен властивість окремою групою нейронів [5].

Незважаючи на вражаючі можливості штучних нейронних мереж, засновники штучного інтелекту як наукового напрямку — Марвін Мінський і Едвард Фейгенбаум [6] — не відносили цей інструментарій до систем штучного інтелекту (при тому, що вони були вченими, які здійснили один з найбільших внесків у розвиток теорії нейронних мереж)*.

Вони вважали недоречною апеляцію до архітектури мозку, його нейронних структур, і декларували необхідність моделювання процесу роботи людини зі знаннями. Поставивши у центрі уваги операції з формально-логічними мовними структурами, вони свідомо обрали орієнтацію на імітацію обробки інформації лівою півкулею мозку людини. Системи обробки таких формалізованих знань були названі експертними, оскільки вони повинні були відтворювати хід логічних міркувань експерта (високопрофесійного фахівця) у конкретній предметній області. Ці міркування реалізуються з використанням правил висновку, які необхідно отримати у експерта та формалізувати на підґрунті обраного математичного інструментарію.

Однак структура подання знань є ключовим слабким місцем сучасних нейронних мереж — вони не передбачають можливість однозначного встановлення правил прийняття рішень. Подання знань у нейронній мережі безпосередньо пов'язано з мережною архітектурою. Проте сьогодні не існує якої-небудь формалізованої теорії оптимізації структури нейронних мереж або оцінки впливу архітектури мережі на подання знань у ній. Незалежно від того, як вибирається архітектура мережі, знання про предметну область виділяються нейронною мережею в процесі навчання. Ці знання представляються у вигляді ваг синаптичних зв'язків мережі та параметрів нейронів. Така форма подання знань дозволяє нейронній мережі адаптуватися та виконувати узагальнення, однак не забезпечує повноцінного опису розрахункового процесу, що застосовується для ухвалення рішення або формування вихідного сигналу. Це інколи накладає серйозні обмеження на викори-

* Як це не парадоксально, але термін «штучний інтелект» з'явився у 60-і роки у зв'язку з експертними системами як напрямку, альтернативного нейронним мережам. Перша конференція з проблем штучного інтелекту відбулася в США у 1969 році — у цьому ж році була опублікована критична книга з нейромережових структур Мінського та Пейперта «Перцептрони» [7].

стання нейромережевого підходу, особливо в задачах, де необхідно забезпечити можливість пояснення отриманого результату. Зокрема, до них можна віднести і переважну більшість економічних задач.

У 1988 році Фодором і Пилишиним [8] були опубліковані критичні зауваження з приводу обчислювальної адекватності нейронних мереж при вирішенні когнітивних і лінгвістичних задач. Вони аргументовані тим, що нейронні мережі не задовольняють двом основним критеріям процесу пізнання: природі ментального представлення та розумових процесів. Згідно цій роботі такі характеристики властиві саме системам штучного інтелекту і не властиві нейронним мережам: ментальне представлення характеризується комбінаторним синтаксисом та семантичною структурою; розумові процеси характеризуються чутливістю до комбінаторної структури представлення, з яким вони працюють. Штучний інтелект припускає існування ментального представлення, у якому пізнання здійснюється як послідовна обробка (sequential processing) символічної інформації.

Дійсно, однією з відмітних рис систем штучного інтелекту в класичній постановці є використання символічної мови (symbol structure) для подання загальних знань про предметну область і конкретних знань про способи вирішення завдання [8—10]. Оскільки основою класичних систем штучного інтелекту виступає мова мислення, то символічне подання знань має квазі-лінгвістичну структуру, що обґрунтовує доцільність застосування для вирішення поставленої задачі інструментарію нечіткої логіки, який задовольняє вказаним властивостям експертних систем.

Подібно фразам звичайної мови, висловлювання класичних систем штучного інтелекту, як правило, складні та утворюються шляхом систематизації простих символів. З огляду на обмежену кількість символів, нові смислові висловлювання формуються на основі композиції символічних виразів та балансування між синтаксичною структурою і семантикою. Символи зазвичай групуються у відомі терміни, що робить символічне подання відносно простим і зрозумілим людині. Тобто, відкритість і зрозумілість символічних систем штучного інтелекту робить їх придатними для людино-машинного спілкування.

У зв'язку із цим Алленом Ньюеллом і Гербертом Саймоном була сформульована гіпотеза про фізичну символічну систему [11], іменована на їхню честь гіпотезою Ньюелла—Саймона, яка стверджує, що необхідні та достатні засоби для реалізації базових інтелектуальних дій у широкому змісті (реалізація сильного штуч-

ного інтелекту) має фізична символна система. Підставою для гіпотези стало успішне застосування для відтворення міркувань людини створеної ними програми — універсального розв'язувача задач (General Problem Solver), в основу якого покладено евристичний пошук.

Іншими словами, ця гіпотеза говорить про те, що без символних обчислень неможливо виконувати осмислені дії, а здатність виконувати символні розрахунки цілком достатня для того, щоб здійснювати осмислені дії. Таким чином, оскільки комп'ютер здатний до подібних обчислень, то на його основі може бути створений сильний штучний інтелект. Про це також було відзначено Джоном Сьорлем, але він же вказував, що звідси не випливає, що мислення еквівалентно формальним символним розрахункам [4, с. 27]. Існуючі на сьогодні системи та ті, що можуть з'явитися в недалекому майбутньому, здатні відтворювати синтаксис, але не реалізують семантику, що є головною характерною рисою людського мислення (інтелекту). При цьому синтаксису самого по собі недостатньо для існування семантики. Однак Сьорль не відкидає принципово можливість створення подібних систем у подальшому.

Однак автори цієї статті мають дещо іншу позицію стосовно можливості створення систем штучного інтелекту. Якщо мати за мету реалізувати слабкий штучний інтелект, здатний вирішувати когнітивні задачі, то подібний підхід себе повністю виправдовує (хоча тут можна скористатись і значно примітивнішими підходами, які не мають біологічної правдоподібності). Якщо метою є створення систем сильного штучного інтелекту, здатних до мислення, самостійного навчання, творчості (зберігаючи можливість вирішення всіх задач, що розв'язуються системами слабого штучного інтелекту), тоді, на наш погляд, є сенс більш детально проаналізувати сутність існування інтелекту. Звернемось до філософії цього питання та біологічних основ процесу мислення. І почнемо з більш простих мислячих істот.

Так, якщо поглянути на живу природу, то цікавим виглядає той факт, що певні рішення постійно приймаються будь-якими живими істотами. Наприклад, якщо дворова собака бачить більшу собаку, вона може і загавкати, але відбіжить, а якщо та собака буде меншою, то може і підбігти до неї. І навіть тут вже простежується прояв елементарної логіки за принципом «якщо... то..., інакше...». І це не є тривіальним відскакуванням від вогню чи болю, або звичайний пошук їжі, а дійсно процес мислення, прийняття рішень. Є й інші, більш інтелектуально розвинуті за собаку живі істоти, наприклад, дельфіни, шимпанзе.

У зв'язку з цим виникають деякі принципові питання стосовно характеру думок та організації процесу мислення. Так, коли здійснює міркування людина, то процес мислення приймає вигляд логічних мовних конструкцій, коли за одною фразою спливає інша, виникають варіанти розвитку подій тощо (саме тут з'являється місце символічним системам штучного інтелекту). Однак, інші живі істоти не володіють людською мовою та не можуть конструювати логічні речення або інші синтаксичні конструкції, відповідно, в природі процес прийняття рішень набуває якоїсь іншої форми.

Припустимо, що саме цей процес прийняття рішень, коли відсутнє логічне пояснення, люди називають інтуїцією. Тобто, інші живі істоти приймають рішення, ґрунтуючись на закладених у мозку моделях поведінки (які з часом можуть змінюватись, підлаштовуючись під навколишній світ). Людина також звертається до такого процесу мислення, зазвичай, не усвідомлюючи це, але у такому разі мислення дійсно не приймає вигляд логічних мовних конструкцій.

Напевно, людина в своїх роздумах оперує не стільки словами, скільки образами, асоціаціями. Адже, якщо б у процесі мислення прив'язка була б до конкретних слів та словосполучень, людина не могла б переходити з такою легкістю на інші мови (навіть думати на них). Тут зауважимо, що це є лише сприйняття людини, що вона думає на деякій мові. Є глухонімі люди, які взагалі жодної мови не знають. І це не заважає їм приймати логічно обґрунтовані рішення, розв'язувати різні задачі. Отже, мова є лише проєкцією для людини її думок. Однак самі думки можуть розвиватись і без їх трансформації в лінгвістичну форму.

Відповідно, можна припустити, що процес мислення у людини проходить, швидше за все, через деякі збережені у пам'яті образи, але людина усвідомлює це через мову, носієм якої вона є. Звідси впливає можливість того, що ті ж собаки можуть думати подібними категоріями (образами, але в більш простій формі), просто вони не трансформують їх через словесні вирази. Біологічним поясненням є елементарна нерозвиненість відповідної ділянки мозку, що надає образам лінгвістичного представлення.

Отже, якщо здійснювати спроби реалізувати штучний інтелект, ґрунтуючись на принципах живої природи, доцільно будувати систему, що оперує саме образами (можливо, подібно до нейронних мереж асоціативної пам'яті), а окремо, за необхідності, додати модуль, який відповідатиме за лінгвістичну інтерпретацію отриманих результатів.

Це у певній мірі суперечить загальноприйнятій гіпотезі Ньюелла—Саймона про можливість реалізації сильного штучного інтелекту

лише на основі фізичних символічних систем, але наведена вище аргументація показує процес прийняття логічно-обґрунтованих рішень у живій природі без володіння символічною мовою.

Зайвим підтвердженням цього можуть бути моменти, коли людина точно розуміє, що бажає висловити (у пам'яті виникла досить конкретна думка), але не може підібрати відповідне слово. Більше того, коли людина подумки згадує якусь ситуацію, то згадка не приймає словесного вигляду зразка: «Я був у світлій кімнаті великого розміру, посередині стояв стіл, два м'яких крісла, під стіною була шафа з книгами. Всі предмети мали такий-то колір, розмір та інші характерні особливості. Ще були чоловік і жінка. Вони виглядали впевнено, були такого-то зросту, мали такі фігури, форми обличчя, одяг тощо. З ними говорили про можливість побудови систем штучного інтелекту. І так далі.». При такому описі багато інформації (можливо і несуттєвої) втрачено. У пам'яті ж ситуація згадується більш насичено, проте не абсолютно чітко. Деякі моменти спливають в пам'яті розпливчасто (не так, як можна описати лінгвістично). Крім того, як для згадки, то це занадто довго — зазвичай людина згадує ситуацію миттєво (і при цьому активізується велика група нейронів головного мозку, які відповідають за збереження інформації від усіх органів чуттів). Відповідно, згадка не приймає вигляд речення або якоїсь іншої синтаксичної конструкції.

На користь цих роздумів наведемо другу і третю аксіоми Сьорля «Людський розум оперує смисловим змістом (семантикою)» і «Синтаксис сам по собі не утворює семантику і його недостатньо для існування семантики» [4, с. 27], які свідчать про те, що самого маніпулювання символами недостатньо, щоб гарантувати наявність сенсу. Сьорль справедливо зазначає, що моделювання процесу мислення не є самим процесом мислення. Тобто, програмна реалізація комп'ютерних алгоритмів, навіть здатних здійснювати синтаксичний аналіз лінгвістичних конструкцій та надавати обґрунтовані відповіді з бази можливих варіантів, не наділяє систему інтелектом або справжнім розумінням сутності запитань та відповідей.

Для доведення своїх тверджень Сьорль навів уявний експеримент з «китайською кімнатою». Кімната у цьому випадку уособлює штучну систему, яка проходить тест на інтелектуальність. У цьому експерименті людина, яка знаходиться у кімнаті, коректно відповідає на запитання китайською мовою, якою не володіє, ґрунтуючись на певних підказках, які містяться у кімнаті (алгоритмі поведінки). При цьому людина зовсім не розуміє, що саме

вона говорить, відповідно, така поведінка, як і кімната в цілому, не є інтелектуальною. Ця робота викликала масу дискусій стосовно коректності висновків. Серед критиків Сьорля можна згадати, скажімо, Пола та Патрицію Черчлендів, у роботі [12] яких крім зауважень містяться і пропозиції щодо створення систем штучного інтелекту на базі нейронних мереж.

У цілому, в цій полеміці доводи Сьорля виглядають більш ґрунтовними. Однак, критикуючи нейронні мережі (як і інші конекціоністські системи) у якості інструментарію для реалізації штучного інтелекту, він наводить новий приклад з китайською мовою, однак відповіді тут вже дають на запитання велика кількість людей у гімнастичному залі (який би вмів їх усіх), базуючись на тих самих правилах, що і людина у «китайській кімнаті». І показує, що така система також не отримує інтелектуальних властивостей. Сьорль зазначає [4, с. 28], що для проведення розрахунків послідовні та паралельні архітектури абсолютно ідентичні: будь-яке обчислення, яке може бути виконано машиною з паралельним режимом роботи, може бути реалізовано машиною із послідовною архітектурою.

Нашою відповіддю на таку тезу є те, що у нервовій системі думка не протікає послідовно, переходячи від одного нейрону до іншого. Кожна згадка, будь-яке міркування одночасно активізує велику кількість нейронів, що відповідають тому чи іншому образу, збереженому в пам'яті раніше. Ці нейрони, у свою чергу, спричиняють активізацію в наступний момент великої кількості інших нейронів, які відповідають якомусь конкретному іншому образу, асоціативно пов'язаному із попереднім. І залежно від того, які саме нейрони активізовані, в думках виникає той чи інший образ (можливо, у вигляді зображення чи загального сприйняття навколишнього середовища, можливо, звуку або лінгвістичного виразу тощо). Послідовна обробка інформації не в змозі забезпечити перехід від одного образу, що подається одночасно багатьма обчислювальними елементами, до іншого у логічній послідовності. Отже, аргумент Сьорля із гімнастичним залом є дещо надуманим.

Однак цілком погоджуємось з тезою, що синтаксис не потрібний для існування семантики. З огляду на вищенаведені приклади беремось стверджувати, що для реалізації штучного інтелекту важливо вміти оперувати образами, які реалізують семантику, але їх представлення не обов'язково повинно бути синтаксичним або, взагалі, лінгвістичним.

У людському уявленні семантика може бути представлена у вигляді словесних виразів, однак для існування мислення це не є

обов'язковою умовою. Людина (як й інша розумна істота, наприклад, та ж собака) може вистроювати логічні послідовності без використання лінгвістичних конструкцій, ґрунтуючись лише на якихось об'єктах. Тобто, для виникнення синтаксису семантика є обов'язковою. Однак для існування семантики синтаксис, як такий, зовсім не потрібний. І парадоксальним є те, що хоч синтаксис є і вищим за семантику (властивий лише найбільш інтелектуально розвинутій живій істоті — людині), його ми можемо відтворити, а семантику поки що ні. Просто існування семантики закладено на дуже глибинних шарах нашої свідомості, в самій основі функціонування розуму. І якщо ми це усвідомимо, а не будемо намагатись відтворити очевидні синтаксичні конструкції і називати це інтелектуальними системами, у нас дійсно з'явиться шанс реалізувати сильний штучний інтелект.

Якщо ж будувати системи штучного інтелекту за принципом експертного встановлення логічних правил у символічних категоріях, то ми свідомо штучно вбудовуємо в систему знання експерта. Подібні системи не продукують нові знання — вони, за умови внесення додаткових удосконалень, отримують лише можливість оптимізації власних параметрів для обраних вхідних та вихідних змінних. Природа йшла іншим шляхом.

Логіка підказує доцільність зосередження уваги на конструюванні мозкоподібних систем та інтерпретації розрахунків у нейроподібних елементах. На наш погляд, у якості найбільш адекватного інструментарію для відтворення розумових процесів різних живих істот можуть виступити класичні штучні нейронні мережі, зокрема, мережі асоціативної пам'яті. Як і у біологічних нервових системах, образи у нейронних мережах асоціативної пам'яті зберігаються, задіявши великі групи нейронів (на відміну від того ж перцептронів, де обробка інформації йде односпрямовано та, за великим рахунком, послідовно).

Можливість створення систем паралельної обробки інформації дозволить практично миттєво вирішувати надзвичайно склад-

* Не хотілося б, щоб у читача склалось враження, що цими висновками критикуються результати, отримані у попередніх авторських дослідженнях, зокрема [13], або інструментарій, який було обрано для моделювання економічних систем і процесів. У цих дослідженнях було використано інструментарій нечіткої логіки, який якраз оперує лінгвістичними термами та дозволяє формувати логічні конструкції. Цей інструментарій дозволяє адекватно моделювати об'єкт дослідження в умовах суттєвої невизначеності, нестаціонарності економічних процесів, а також нестачі та недостатньої достовірності статистичних даних. І при цьому зовсім не ставилось за мету відтворення процесів інтелектуальної діяльності та прийняття рішень людиною. Хоча, віддаючи шану справедливості, зазначимо, що в рамках загальноприйнятої концепції, інструментарій нечіткої логіки вважається на сьогодні найбільш перспективним підходом до конструювання систем сильного штучного інтелекту.

ні завдання і час їх вирішення не буде залежати від кількості нейронів, задіяних в обчисленнях. Ця перевага стає усе більше очевидною по мірі зростання кількості нейронів на кожному рівні. Швидкість обробки інформації в таких системах практично не залежить ані від числа елементів, що беруть участь в обчислювальному процесі, ні від складності функцій, які вони розраховують. Також паралельний характер системи робить її нечутливою до дрібних помилок і надає їй функціональну стійкість: втрата декількох зв'язків, навіть помітної їх кількості, робить незначний вплив на загальний хід перетворення даних мережею.

Паралельна система запам'ятовує велику кількість інформації в розподіленому виді, при цьому забезпечується доступ до будь-якого фрагмента цієї інформації за надзвичайно короткий час. Інформація зберігається у вигляді певних конфігурацій ваг окремих синаптичних зв'язків, що сформувалися в процесі попереднього навчання. Навчання може здійснюватись також у фазі звичайної роботи мережі, ґрунтуючись на правилі Хебба (відповідно до якого чим частіше активізується міжнейронний зв'язок, тим сильнішим він стає), що ототожнює таку поведінку з біологічним прототипом. Потрібна інформація звільняється по мірі того, як вхідний вектор проходить і перетворюється через цю конфігурацію зв'язків на зразок до асоціативної пам'яті живих істот, коли за одним збереженим у пам'яті образом спливає інший.

Цими образами можуть бути, зокрема, слова, які утворюють речення, що і є реалізацією синтаксису — специфічної мозкової діяльності вищої живої істоти — людини. При цьому слова, з яких формуються речення, характеризуються смисловим змістом (та можуть бути асоціативно пов'язані з візуальними, звуковими чи іншими образами, збереженими в пам'яті), що наділяє їх семантикою — головною характеристичною рисою інтелекту.

Якщо повернутись до питання можливості створення систем штучного інтелекту для вирішення економічних задач з огляду на викладене вище, то дамо на нього ствердну відповідь, проте з одним, але дуже суттєвим застереженням — це напевно будуть системи слабкого штучного інтелекту. На те є кілька причин. По-перше, сильного штучного інтелекту наразі не реалізовано, більше того, немає однозначної позиції у науковій спільноті відносно того, що він може бути створений взагалі. По-друге, як впливає із багатьох формулювань, слабкий штучний інтелект передбачає можливість застосування для розв'язання економічних завдань будь-якого математичного інструментарію незалежно від його біологічної правдоподібності. Інструментарій та відповідні алгоритми підбираються

під кожну окрему задачу, що і так сьогодні здійснюється. Нарешті, якщо навіть припустити можливість реалізації сильного штучного інтелекту, доцільність його застосування для вирішення економічних задач є сумнівною. Адже для прийняття обґрунтованих рішень важливо оптимізувати деякий обраний критерій (наприклад, мінімізувати ризик або максимізувати прибутковість діяльності), але зовсім не доцільно відтворювати процес мислення та прийняття рішення людиною, навіть якщо вона є висококваліфікованим експертом, зважаючи на необхідність уникнення суб'єктивізму.

Висновки

На початку роботи було вказано на два загальноприйняті підходи до побудови систем штучного інтелекту — семіотичний (який відтворює високорівневі психічні процеси у мозку людини і може бути реалізований із застосуванням методів нечіткої логіки) та біологічний (який моделює інтелектуальну поведінку на основі більш дрібних неінтелектуальних елементів шляхом конструювання мозкоподібних структур і може бути реалізований засобами інструментарію нейронних мереж).

Важливо зазначити, що така суттєва перевага нейронних мереж, як паралелізм у виконанні розрахункових обчислень, у певній мірі нівелюється нейманівською архітектурою сучасних комп'ютерів, де обробка інформації здійснюється послідовно. Якщо будуть створені комп'ютерні системи, здатні виконувати паралельні обчислення подібно обробці інформації в людському мозку, можна припустити принципову можливість реалізації систем сильного штучного інтелекту на підґрунті технології штучних нейронних мереж за умови забезпечення можливості одночасної активації великої групи нейронів.

До того моменту найбільш суттєвого результату у напрямку створення систем штучного інтелекту можна очікувати від досліджень, що ґрунтуються на концепції Мінського і Фейгенбаума [6], згідно якої обробка інформації здійснюється за принципом формально-логічних процедур на основі мовних конструкцій подібно до того, як відбувається мислення у лівій півкулі мозку людини. У такому разі покрокову обробку інформації можна пояснити послідовним характером природних мов та процесу отримання людиною логічних висновків.

Отже, велика кількість дослідників у цій царині науки схилиються до того, що для побудови систем штучного інтелекту є сенс за-

стосовувати підходи, здатні відтворити розумові процеси у мозку людини, зокрема, передбачають можливість реалізації логічних конструкцій та оперування лінгвістичними термінами. Зокрема, згідно гіпотези Ньюелла—Саймона для побудови систем сильного штучного інтелекту необхідно забезпечити символне представлення знань, що не може бути реалізовано засобами класичних нейронних мереж. Задовольнити таким вимогам здатні системи, побудовані, наприклад, на підґрунті інструментарію нечіткої логіки.

При цьому застосування технології нейромережевого моделювання набуває особливої важливості у зв'язку з необхідністю забезпечення навчання подібних експертних систем (самі по собі системи на нечітких множинах здатністю до навчання не володіють). Відповідно, для вирішення когнітивних задач доцільно створювати структуровані моделі на основі зв'язків (structured connectionist models) або гібридні системи (hybrid system), що поєднують обидва підходи. Як зазначалось вище, це забезпечить поєднання властивостей адаптивності та робастності, характерних нейронним мережам, з поданням знань, логічністю та універсальністю систем нечіткої логіки.

Зауважимо, що перевагою нечітких систем є їхня здатність обробляти лінгвістичну інформацію та враховувати експертні знання. Сила нейронних мереж полягає в здатності навчатися на даних. Між нейронними мережами та нечіткими системами існує певна синергетика, яка робить їхню гібридизацію важливим інструментом інтелектуального управління та виділяє їх як один із найбільш прогресивних підходів у напрямку до створення систем штучного інтелекту. Інструментарій теорії нечіткої логіки та нейронних мереж, як це було показано вище, повністю відповідає вимогам, що висуваються до систем штучного інтелекту (навіть сильного, якщо припустити можливість його реалізації).

Література

1. *Кухарев Г. А.* Биометрические системы: Методы и средства идентификации личности человека. — СПб.: Политехника, 2001. — 240 с.
2. *Turing A. M.* Computing Machinery and Intelligence // *Mind*. — 1950. — October. — Vol. 59. — No. 236. — P. 433—460.
3. *Searle J. R.* Minds, Brains and Programs // *Behavioral and Brain Sciences*. — 1980. — Vol. 3. — № 3. — P. 417—458.
4. *Searle J. R.* Is the Brain's Mind a Computer Program? // *Scientific American*. — 1990. — Jan. — № 262. — P. 26—31.
5. *Hinton G. E.* Shape representation in parallel systems // *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence*. — Vancouver, British Columbia 1981. — P. 1088—1096.

6. *Minsky M. L.* Steps towards artificial intelligence // Proceedings of the Institute of Radio Engineers. — 1961. — Vol. 49. — P. 8-30 (Reprinted in: Computers and Thought (E. A. Feigenbaum and J. Feldman, eds.). — New York: McGraw-Hill. — 1963. — P. 406—450).
7. *Minsky M. L., Papert S. A.* Perceptrons. — Cambridge, MA: MIT Press, 1969. — 263 p.
8. *Fodor J. A., Pylyshyn Z. W.* Connectionism and cognitive architecture: a critical analysis // Cognition. — 1988. — Vol. 28. — P. 3—72.
9. *Newell A.* Physical symbol systems // Cognitive Science. — 1980. — No. 4. — P. 135—183.
10. *Pylyshyn Z. W.* Cognition and computation: Issues in the foundations of cognitive science // Behavioral and Brain Sciences. — 1980. — No. 3:1. — P. 154—169.
11. *Newell A., Simon H. A.* Human Problem Solving. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1972. — 920 p.
12. *Churchland P. M., Churchland P. S.* Could a Machine Think? // Scientific American. — 1990. — Jan. — № 262. — P. 32—37.
13. *Матвійчук А. В.* Моделювання та аналіз економічних систем на підґрунті теорії нечіткої логіки: Дис. ... докт. екон. наук: 08.00.11. — К., 2008. — 470 с.

УДК 330.4:519.86

В. К. Галіцин, д-р екон. наук,
Київський національний економічний університет,
С. В. Устенко, д-р екон. наук,
Український фінансово-економічний інститут

РОЗВИТОК НАУКОМІСТКИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ: МОДЕЛІ І МЕТОДИ

АНОТАЦІЯ. Запропоновано динамічну модель оптимального економічного розвитку наукомісткого підприємства. Проведено чисельне моделювання задачі оптимального розподілу капіталовкладень та інвестицій в процесі функціонування та розвитку наукомісткого підприємства. Отримано структуру оптимальних траєкторій фондоозброєності динамічної системи наукомісткого підприємства. Доведено існування магістралі для динамічної моделі, яка може бути використана в різних наукомістких галузях України.

SUMMARY. The dynamic model of optimal economical development of science intensive enterprise has been proposed. The numerical modeling of the task of optimal allocation of capital investments and funds to the process of functioning and development of science intensive enterprise has been conducted. The structure of optimal path of fund supplies of the dynamic model of the science intensive enterprise has been received. The existence of trunk line for the