



О.І. Повзун¹, Н.Б. Козел², Г.Г. Четвериков³

¹Кандидат технічних наук, доцент, Донецький національний технічний університет,
povzun.aleksey@gmail.com

²Старший викладач кафедри ПІ ХНУРЕ, м. Харків, Україна,
ORCID iD: 0000-0001-9276-9877, natalia.kozel1@nure.ua

³Доктор технічних наук, професор, ХНУРЕ, м. Харків, Україна,
ORCID iD: 0000-0001-9276-9877, chetvergg@gmail.com

КОНЦЕПЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ СУСПІЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ. ЧАСТИНА 1

The article is devoted to the analysis of the problem of creating artificial intelligence systems that allow modeling at the logical and hardware levels of economic solutions described by mathematical operations on natural language, and which are elements of k -valued structural organization of information and intellectual technologies. It describes the concept of organizing information and intellectual technologies, as well as intellectual support of socio-economic processes, in particular, financial and credit enterprises. In the article, the intellectual activity of people is investigated in its external (problem solving, understanding and interpretation of natural language, visual information, etc.) and internal (accumulation, transfer and use of knowledge) forms.

KNOWLEDGE BASE, LOGIC, NATURAL LANGUAGE, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, k -VALUED STRUCTURE

Стаття присвячена аналізу проблеми створення систем штучного інтелекту, які дозволяють моделювати на логічному та апаратному рівнях економічні рішення, описані математичними операціями над природною мовою, і які є елементами k -значної структурної організації інформаційно-інтелектуальних технологій. Вона описує концепцію організації інформаційно-інтелектуальних технологій, а також інтелектуальної підтримки суспільно-економічних процесів, зокрема фінансово-кредитних підприємств. У статті досліджується і моделюється інтелектуальна діяльність людей в її зовнішньому (розв'язання задач, розуміння та інтерпретація природної мови, візуальної інформації і т.д.) і внутрішньому (накопичення, передача і використання знань) проявах.

БАЗА ЗНАНЬ, ЛОГІКА, ПРИРОДНА МОВА, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, k -ЗНАЧНА СТРУКТУРА

Статья посвящена анализу проблемы создания систем искусственного интеллекта, которые позволяют моделировать на логическом и аппаратном уровнях экономические решения, описанные математическими операциями над естественным языком, и которые являются элементами k -значной структурной организации информационно-интеллектуальных технологий. Она описывает концепцию организации информационно-интеллектуальных технологий, а также интеллектуальной поддержки общественно-экономических процессов, в частности финансово-кредитных предприятий. В статье исследуется и моделируется интеллектуальная деятельность людей в ее внешнем (решение задач, понимание и интерпретация естественного языка, визуальной информации и т.д.) и внутреннем (накопление, передача и использование знаний) проявлениях.

БАЗА ЗНАНИЙ, ЛОГИКА, ЕСТЕСТВЕННЫЙ ЯЗЫК, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, k -ЗНАЧНАЯ СТРУКТУРА

Вступ

У ХХІ столітті виникла матеріально-енергетична та соціально-економічна криза суспільного виробництва, виходом із якої став перехід економічно розвинутих країн від матеріально-енергетичних технологій виробництва та споживання до інформаційно-інтелектуальних технологій, де економія матеріально-енергетичних ресурсів досягається шляхом переходу від опрацювання інформації до обробки знань. Інтелектуальна підтримка суспільно-економічних процесів дозволяє раціонально розв'язати триєдине завдання прогресу сучасної цивілізації – підвищення ефективності, гуманістичності та екологічності виробництва [1-7].

Найшвидші суперкомп'ютери сьогодні працюють набагато повільніше, ніж це потрібно для роботи з

даними і знаннями, поданими мовними моделями, що описують описові науки. Розв'язання цієї проблеми залежить від того, чи будуть створені відповідні комп'ютерні системи, здатні працювати зі швидкістю у 1000 разів більшою, ніж існуючі найбільші суперкомп'ютери [1-7]. Поняття „нові інформаційні технології” передбачає вміння користуватися сучасними засобами та методами добування, опрацювання і систематизації знань.

1. Мета роботи

Основним завданням цієї роботи є виклад новостворюваної концепції організації інформаційно-інтелектуальних технологій та інтелектуальної підтримки суспільно-економічних процесів, зокрема діяльності фінансово-кредитних установ. Предметом

досліджень є моделювання інтелектуальної діяльності людей як у зовнішньому її прояві (вирішення складних завдань, розуміння природної мови, інтерпретація візуальної інформації та мови), так і у внутрішньому (накопичення, надання і використання знань).

2. Основні поняття та визначення

У теорії пізнання постулюються для новостворюваних теорій два основоположних принципи: «якщо існує об'єкт, то його можна досліджувати» та «щоб уникнути труднощів взаєморозуміння, необхідно перш за все порозумітись із основними визначеннями», які стосуються даної теорії. Відповідно, *наочною чи проблемною галуззю* ми називатимемо сукупність даних і знань, що є достатнім для інформаційного (заданого на контекстно-залежній мові) забезпечення рішення деякої задачі чи сукупності завдань інтелектуальної системи.

Складність поняття *знань*, завжди виражається на деякій мові відношень, полягає у множинності можливостей її реалізації і нерозривності з поняттям *дані*, в безперервному процесі їх зміни, врахування якого забезпечує реалізацію контекстного зв'язку даних.

Відзначимо сферу предметних галузей, де найдоцільніше працювати з даними і знаннями, поданими мовними моделями. Це галузі з переважанням емпіричного знань, де складність фактів і їх описів виключає використання мови математики — так звані описові науки, які, загалом, і стали такими, бо вивчають те, що не може бути адекватно описане мовою математики — відкриті системи в їх природному оточенні, системи, спостережувані на рівні апарату лінгвістики. Як буде видно з подальшого, саме такий підхід дозволяє добиватися найбільшого ступеня адекватності опису тієї чи іншої системи, особливо при введенні поняття зміни формально-логічних властивостей лінгвістичного апарату під дією вхідних інформаційних потоків.

Сказане вище означає, що сукупність знання—дані в завданнях управління подається деякою семіотичною системою. Взагалі кажучи, під семіотикою розуміється наука про знаки і знакові системи, а також про мови як знакові системи, причому загальний підхід до мовних знакових систем, що включає не тільки традиційне поняття мови, але і мови запахів, свисту, абстрактного живопису і тому подібне, вимагає ще свого теоретичного обґрунтування. Мовою може бути все, що забезпечує виникнення і існування комунікативної функції для своїх користувачів.

У семіотичній системі зазвичай виділяють три аспекти: *синтаксичний, семантичний і прагматичний*. Такого роду розділення цікавить нас із наступної причини. Відповідно до перерахованих трьох аспектів семіотичних систем необхідно виділити *три типи знань, як три типи відношень між даними*: синтаксичні, семантичні і прагматичні.

Знання синтаксичного типу характеризує синтаксичну структуру потоку інформації, яка не залежить від сенсу і змісту використовуваних при цьому понять, тобто інтелектуальну систему не утворює.

Семантичне знання розглядається як структура, утворююча поточний контекст. Воно містить інформацію, безпосередньо пов'язану з поточними значеннями і сенсом описуваних понять і зумовлює стан зв'язків даних в інформаційній базі.

Прагматичне знання зумовлює найбільш вірогідні зв'язки, що описують дані з погляду вирішуваної задачі (узагальнений чи “об'єктивний” контекст), наприклад, із урахуванням специфічних критеріїв і угод, що діють у даному завданні.

Поняття об'єктивності відповідає трактуванню прагматики, прагматичного аспекту створення інтелектуальної системи як спрямованого обмеження її “свободи волі”, обмеження непотрібних зв'язків і “фантазії зв'язків за контекстом” для системи, від якої ми не чекаємо надлишку інтелектуальності. Для порівняння пригадаємо, що ми маємо на увазі, коли даємо людині характеристику “прагматик”.

З інженерної точки зору, синтаксична, семантична і прагматична сторони знань є різними зв'язками одного чи групи термінів (даних) з іншими записами в інформаційній базі.

Зі сказаного зрозуміло, що найбільш загальна проблема побудови системи управління семантичного чи семантико-прагматичного рівня взаємодії пов'язана з вибором технології контекстно-залежного подання знань, побудовою інформаційних баз (даних і знань) про предметну галузь і механізму висновку для отримання необхідних рішень.

Логіка цього механізму може мінятися залежно від контекстів взаємозв'язків знаків (їх прагматики), що є однією з найважливіших причин початкової організації всіх практичних робіт тільки на проблемно-орієнтованій підмножині контекстно-залежної мови, тобто там, де ми сподіваємося на деяку постійність контексту. Ця умова є корисною тільки в сенсі забезпечення деякої початкової простоти побудов. Але, на відміну від “чистих формально-логічних систем”, умова постійності контексту не є для нас обов'язковою. Всі наші побудови орієнтовані, кінець кінцем, саме на мінливості поточного контексту, без чого ми не маємо права говорити про інтелектуальні системи.

Структурування мови йде через формування базового набору відношень (їх число не більше 200): часових, просторових, казуальних, квантифікуючих (бінарні, тернарні), тощо. Метапроцедури — це цілеспрямований пошук у лабіринті можливостей, побудова чи пошук нових лабіринтів, структурування, декомпозиція задач на підзадачі, формування закономірностей на підставі спостережень. У основі наших знань про світ лежать системи класифікації, які дозволяють нам сприймати світ як структурований за мірою загальності об'єкт.

3. Оброблення мов декларативного типу

Мови декларативного типу зручні для опису (подання) знань у системах ШІ [7]. Оброблення мови декларативного типу можна розбити на дві частини:

- те, що декларує людина;
- те, що опрацьовує ЕОМ.

Попереднє оброблення людиною полягає в абстрагуванні реальної проблеми у фізичну чи математичну модель. У подальшому математична модель перетворюється у машинно-орієнтоване відображення, яке сприймає ЕОМ. Складання відповідної програми для перетворення форм подання інформації можливе лише з допомогою семантичного опрацювання. ЕОМ при цьому здійснює лише підтримку оброблення, що його здійснює людина.

Основу такої машинної мови складають:

- основні поняття;
- семантика (на основі відповідного синтаксису);
- процедурні зображення, що описують семантичні одиниці;
- відповідні правила структурування понять (синтаксичні правила).

Механізми оброблення (їх робота) визначаються семантикою та синтаксисом мови [1-3]. Мови процедурного типу є мовами опису, що базуються на семантиці процедур. Операційні механізми цих мов відповідають функціям оброблення та перетворення інформації, а структурні елементи мови не мають нічого спільного з об'єктами реального світу. Процедурна семантика розглянута й описана в теорії обчислень, що дозволяє отримати повноцінний теоретичний опис системи оброблення знань у ШІ.

Мова декларативного типу опирається на відповідну їй структуру даних. Причому структура даних відповідає концептуальній структурі світу. Структура даних мови декларативного типу включає в себе компоненти, які визначаються структурою пам'яті ЕОМ. У мовах декларативного типу співвідношення синтаксис-семантика аналогічні співвідношенню природна мова — рисунки, граfi, просторові зображення, бази даних, тощо.

Бази даних — це абстрактні моделі обмеженої прикладної галузі (галузі знань), які поділяються на:

- a) інженерні БД;
- b) ієрархічні;
- c) мережеві;
- d) реляційні;
- e) постріляційні.

Подання моделей декларативних мов здійснюється предикатами, малюнками, кресленнями, графами, тощо. Математична структура даних у декларативних мовах базується на системах предикатних рівнянь в алгебрі скінченних предикатів (АСП) або на аксіоматичній теорії множин, у якій теорія множин інтерпретується як структура даних.

Таким чином, приходимо до можливо єдиного шляху, яким найповніше, найоб'єктивніше і

найефективніше треба і можна йти шляхом створення систем ШІ — це шлях аналізу, моделювання та синтезу мовного інтелектуального інтерфейсу із допомогою АСП, засобів k -значної логічної системи та відповідних структур і кодування.

АСП [7] є узагальненням алгебри логіки і визначена як:

$$x^\delta = \begin{cases} x, \delta = 1, \\ \bar{x}, \delta = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де δ — степінь аргументу.

Генеральною ідеєю АСП є розширення області пробігання δ до $\{a_0, a_1, \dots, a_{k-1}\}$, де a_0, a_1, \dots, a_{k-1} — k -значні змінні. Виходячи з цього, задаються функції розпізнавання символів a_i змінної x :

$$x^{a_i} = \begin{cases} 1, x = a_i, \\ 0, x \neq a_i. \end{cases} \quad (2)$$

При цьому фіксується множина змінних $x_1 \dots x_n$ та скінчених областей пробігання $A_j = \{a_{i_1}, \dots, a_{i_{k_j}}\}$ кожної змінної x_j , які можуть бути довільної значності.

Функції розпізнавання з'єднуються операціями $\&$, \vee булівської алгебри, у результаті чого отримуються вирази x^a & $(y^b \vee x^c)$, названі в [1] скінченними предикатами. Вони трактуються як функції виду:

$$f: A_1 \times \dots \times A_n \times \{0, 1\}. \quad (3)$$

Це, по суті, характеристичні функції k -значної логіки, але, на відміну від неї, в АСП усі функції можуть приймати значення лише з множини $E_2 = \{0, 1\}$. Операції (1) розпізнавання, $\&$ та \vee утворюють функціонально повний базис у множині функцій виду (3).

Теорія інтелекту — це наука про детерміновані, дискретні і скінченні функції індивідуального людського інтелекту [7]. Таке визначення істотно обмежує поле діяльності для дослідника інтелекту.

По-перше, це визначення вимагає, щоб теорія інтелекту обмежилася вивченням лише функціональної сторони інтелекту, залишаючи осторонь структуру його матеріального носія. При цьому за межами теорії інтелекту залишаються такі цікаві і важливі питання, як будова мозку і нервової системи людини, функціонування їх окремих частин і структур.

По-друге, теорія інтелекту визначається як теорія індивідуального людського інтелекту. Отже, з теорії інтелекту виключаються процеси взаємодії людей один із одним, а це веде до винесення соціальних явищ за її межі. Крім того, таким визначенням виключаються з розгляду інші, ще не відкриті наукою, можливі види інтелекту, а також взаємодія між інтелектом різних видів.

По-третє, прийняте тут визначення теорії інтелекту вимагає виключення з розгляду безперервних і нескінченних інформаційних процесів, веде до зменшення ролі чинника випадковості у діяльності інтелекту. Недолік такого підходу приводить, зокрема, до неможливості усестороннього вивчення

на його основі системи «інтелект — зовнішній світ». Ігнорування статистичної природи сигналів, що надходять до інтелекту із зовнішнього світу, також істотно збіднює теорію інтелекту. Бажання обійтися без безперервних моделей сильно затрудняє вивчення роботи органів чуття, органів руху і мови людини.

Таким чином, прийняте нами визначення теорії інтелекту страждає багатьма недоліками, воно обмежує предмет цієї науки порівняно вузькими рамками, при цьому багато процесів і механізми, які люди схильні інтуїтивно відносити до розряду інтелектуальних, залишаються за межами цього визначення. Нижче приводяться міркування, що спонукали нас, не дивлячись на наголошені моменти, зупинитися на так недосконалому визначенні теорії інтелекту.

Перш за все, слід взяти до уваги ту обставину, що, навіть якщо б ми врахували всі ті доповнення, які тільки що були згадані, все одно повнота визначення теорії інтелекту не була б досягнута. Інтелект — це така система, яка знаходиться в постійному розвитку; ніхто не в змозі передбачити всі можливі напрями і наслідки цього розвитку. Не виключено також, що з часом будуть відкриті нові види інтелекту, принципово відмінні від людського. Тому визначення теорії інтелекту, як би ми не старалися, у будь-якому випадку буде неповним. З іншого боку, в майбутньому у зв'язку з успіхами пізнання інтелекту ніщо не перешкодить його дослідникам розширити рамки теорії інтелекту, коли в цьому з'явиться необхідність. В даний момент, проте, така необхідність гостро не відчувається. Навіть те, порівняно вузьке, визначення теорії інтелекту, яке прийняте нами, ставить масу цікавих задач. Рішення цих задач і практичне використання досягнень теорії інтелекту обіцяє великі блага людству. В даний час, поки теорія інтелекту знаходиться ще у стадії зародження і робить перші кроки у своєму розвитку, вельми розширювальне тлумачення її предмету надало б їй «ведмедючу послугу», бо потурало б розпилюванню наукових сил і засобів, розтраті зусиль у безплідних спробах вирішувати задачі, складність яких перевершує можливості сучасної науки. І, навпаки, вдале тимчасове обмеження предмету теорії інтелекту дозволило б сконцентрувати зусилля на першочергових задачах теорії інтелекту, послужило б стимулом до якнайшвидшого її розвитку.

Визначаючи теорію інтелекту таким чином, як це зроблено в роботах [1-7], ми виходили з того погляду, що детермінованим, дискретним і скінченним процесам в інтелектуальній діяльності належить провідна роль. Вельми важливою обставиною, що вплинула на вибір такого визначення, послужила також наявність на даний час універсальних цифрових обчислювальних машин. Детерміновані, дискретні і скінченні процеси — це в точності ті процеси, які в принципі можуть бути реалізовані на цифрових обчислювальних машинах. Це надає у розпорядження теорії інтелекту універсальний засіб для практичної перевірки і

апробації всіх її висновків і рекомендацій. При прийнятому визначенні теорія інтелекту стає могутньою рушійною силою у справі подальшого вдосконалення засобів обчислювальної техніки. Це вдосконалення, у свою чергу, спричинить серйозну стимулюючу дію на розвиток самої теорії інтелекту.

Обмеження теорії інтелекту детермінованими, дискретними і скінченними процесами дає можливість забезпечити її універсальним математичним апаратом для формального опису довільних скінченних відношень. У роботі як такий апарат запропоновано алгебру скінченних предикатів. На наш погляд, АСП може служити міцним фундаментом теорії інтелекту. Саме завдяки наявності цієї алгебри ми зважилися виділити теорію інтелекту в розряд самостійної наукової дисципліни.

Створення АСП доводить до логічного кінця пошуки універсальної математичної мови для опису детермінованих, дискретних і скінченних інформаційних процесів. АСП у відомому значенні є узагальненням апарату булевих функцій (перехід від двійкових знаків до букв) і апарату багатозначної логіки (перехід від функцій до відношень). Використання АСП у теорії інтелекту приводить до виключення потенційної нескінченності з формальних описів інтелектуальних процесів, що забезпечує краще наближення одержуваних моделей до дійсності, ніж те, яке може дати апарат теорії алгоритмів. АСП вводить у вжиток скінченні алфавітні оператори, адекватніші для формального опису детермінованих, дискретних і скінченних інформаційних процесів, ніж ті, що широко використовуються в даний час для тієї ж мети потенційно нескінченні алфавітні оператори.

Важливо підкреслити, що АСП не є чимось зовнішнім стосовно теорії інтелекту. Вона є не тільки засобом формального опису функцій інтелекту, але в її формулах укладена сама суть інтелектуальних процесів. Формули АСП природним чином інтерпретуються як поняття інтелекту, її рівняння — як думки, думки інтелекту, а процес рішення рівнянь — АСП — як процес мислення.

Наявність АСП відкриває можливість переходу від алгоритмічного опису інформаційних процесів до опису їх у вигляді рівнянь. Ми вважаємо, що мова рівнянь добре відповідає специфіці інтелектуальних процесів. На відміну від алгоритмів і програм для ЕОМ, рівнянням АСП, як, втім, і будь-яким іншим рівнянням, не властива спрямованість дії. Алгоритмічний процес завжди реалізує деяку функцію, з його допомогою проводиться визначення значень цієї функції залежно від значень її аргументів. Рівняннями ж можна задати відносини між змінними. Всі змінні в рівнянні рівноправні, будь-які з них, залежно від нашого бажання, можуть виступати як у ролі незалежних, так і у ролі залежних змінних. Алгоритми і програми описують функціонування систем з входами і виходами, а рівняння АСП описують

функціонування багатополюсних систем. У першому випадку вхід і вихід системи жорстко зафіксовані, у другому випадку вхідні сигнали можуть подаватися на будь-які полюси, а знімання вихідних сигналів також може проводитися з будь-яких полюсів.

Особлива перевага способу опису об'єкту за допомогою рівнянь у порівнянні з алгоритмічним описом полягає у тому, що за рівняннями можна визначити реакції об'єкту при будь-якому способі розподілу вхідних і вихідних сигналів між його полюсами. Якщо число змінних у рівняннях велике (а в рівняннях, що описують інтелектуальні процеси, це число, поза сумнівом, буде дуже великим), то таким же великим буде і число полюсів у об'єкта, описуваного цими рівняннями. Число ж усіх різних способів розподілу вхідних і вихідних сигналів між полюсами об'єкту буде астрономічно великим. У цих умовах практично неможливо створити повний набір алгоритмів, кожний з яких обчислював би реакції об'єкту при якомусь одному способі розподілу вхідних і вихідних сигналів між полюсами об'єкту.

Рівняння вигідно відрізняються від алгоритмів ще й тим, що дозволяють розраховувати (хоча і неточно) реакції описуваного ними об'єкту навіть при неповному його завданні. Не повністю ж розроблений алгоритм буде просто непрацездатним. Опис об'єкта у вигляді системи рівнянь можна легко удосконалювати, проводячи в ньому лише локальні зміни шляхом додавання або виключення окремих рівнянь. Навіть у процесі своєї реконструкції система рівнянь завжди залишається готовою до використання. Описуючи ж реакції об'єкту за допомогою алгоритму, ми ризикуємо зіткнутися з необхідністю корінної переробки алгоритму при щонайменших змінах наших знань про об'єкт. Опис об'єктів за допомогою рівнянь — традиційний спосіб наукового опису світу. Цей спосіб широко поширений у фізиці, хімії, техніці і багатьох інших науках. Нам представляється, що прийшов час використовувати його також і при описі дискретних інформаційних процесів.

Алгоритми і програми для ЕОМ, з одного боку, і рівняння АСП — з іншого, що розглядаються як засоби математичного опису скінчених об'єктів, відрізняються ще в одному вельми важливому відношенні. Алгоритми і програми, описуючи деякий об'єкт, разом із тим містять у собі ще й рецепт обчислення реакцій цього об'єкту на зовнішні дії. Укладач алгоритму чи програми вимушений вирішувати відразу дві задачі: 1) природничонаукову задачу математичного опису об'єкту; 2) формально-логічну задачу визначення реакцій об'єкту на зовнішні дії. Рівняння ж, описуючи об'єкт, не містять у собі рецепту обчислення реакцій цього об'єкту. Щоби ці рівняння привести в дію, їх необхідно розв'язати за допомогою спеціально розробленого методу. При математичному описі об'єкту за допомогою рівнянь їх укладач вирішує не обидві задачі, а тільки одну з них — першу. Він не

робить нічого зайвого, не захаращує опис інформацією, що не відноситься до справи, тому природно чекати, що математичний опис об'єктів за допомогою рівнянь буде простішим, ніж опис тих же об'єктів за допомогою алгоритмів і програм. Ми сподіваємося, що рівняння АСП стануть основним інструментом у справі моделювання інтелектуальних процесів.

Вважаємо, що мова рівнянь добре відповідає специфіці інтелектуальних процесів. На відміну від алгоритмів і програм для цифрових ЕОМ рівняннями АСП, як, втім, і будь-яким іншим рівнянням, не властива спрямованість дії. Алгоритмічний процес завжди реалізує деяку функцію, з його допомогою проводиться визначення значень цієї функції в залежності відношень тощо); поняття алгебри логіки і багатозначної логіки; деякі поняття, пов'язані з процесами обробки виразів (слово, довжина слова, з'єднання слів, упаковка виразу, об'єднання виразів, тощо); прості лінгвістичні поняття (голосні, шиплячі, елементи парадигматичної таблиці тощо). У цій галузі ще належить виконати величезний обсяг робіт. Їх завершення означатиме формалізацію всієї системи понять, якою володіє людський інтелект. У міру розширення круга понять, математично описаних засобами АСП, її мова ставатиме все більш ємною і абстрактною, поступово наближаючись по своїй силі і виразності до природної мови.

Важливою проблемою теорії інтелекту є розробка методів і засобів для вирішення рівнянь АСП. Вони необхідні для фізичного відтворення інформаційних процесів, формально описаних теорією інтелекту. Без вказаних методів і засобів математичні моделі функцій інтелекту залишаться тільки мертвими записами на папері. На даний час зроблено перші кроки у напрямі рішення цієї проблеми: побудовано алгоритми рішення рівнянь АСП шляхом приведення їх до досконалої диз'юнктивної нормальної форми і шляхом послідовної підстановки в рівняння знайдених значень змінних; розроблені методи мінімізації формул і методи декомпозиції рівнянь АСП; знайдено способи явного виразу невідомих для рівнянь із постійними і змінними параметрами; описано ряд тотожностей, на основі яких можуть виконуватися спрощення формул за наявності в них символів вищого рівня абстракції, що скорочують (заперечення, імплікація, об'єднання множин, з'єднання слів, упаковка виразів, тощо).

Рішення рівнянь, що описують складні інтелектуальні процеси, можна подати як багатоярусний процес, здійснюваний на різних рівнях абстракції. Щоб повністю автоматизувати процес, необхідно заздалегідь виконати дуже велику роботу щодо формального опису властивостей понять різного рівня абстракції, створити теорію тотожних перетворень і спрощення формул різних консервативних розширень АСП. Як перший крок у цій галузі розроблено початки теорії виразів, в якій формально описані прості перетворення послідовностей символів (селекція, комутація,

зсув, перестановка, вибірка, розмноження, знищення, заміна букв виразу, підрахунок букв виразу, віднімання виразів, тощо).

Нагальною задачею теорії інтелекту є створення універсального вирішувача задач, який на першому етапі робіт можна подати у вигляді спеціальної програми для цифрових ЕОМ, розв'язку певного класу рівнянь АСП з символікою достатньо високого рівня абстракції. Рішення цієї задачі дозволило б взагалі відмовитися від складання програм для багатьох задач, складність яких не перевершує деякий заданий рівень. Достатньо б було записати умови задачі у вигляді системи рівнянь АСП і вирішити систему за допомогою універсального вирішувача.

Другий етап робіт у цьому напрямі представляється як створення спеціалізованої машини для вирішення рівнянь АСП заданого рівня складності. Така машина, по суті, виявилася б відправним пунктом у справі створення системи штучного інтелекту. У міру того, як у процесі вдосконалення машини, збільшувалася б гранична складність вирішуваних нею рівнянь, а також росли б рівень абстрактності і число освоєних нею понять, спостерігався б поступовий розвиток її інтелекту. Зараз зроблені певні зусилля у напрямі створення передумов до побудови такої машини. Розроблено початки теорії ланцюгів перемикачів і теорії цілком скінчених автоматів, розглянуто способи схемної реалізації деяких первинних математичних структур і операцій (множин і відношень, операцій над ними, булевих і перемикачів функцій, арифметичних дій, операцій над виразами і словами, тощо).

4. Фонетичний аналіз. моделі буквофонемних відношень для голосних та приголосних звуків української мови

Задача фонетичного аналізу полягає у тому, щоби засобами АСП описати букво-фонемне відношення, що зв'яже звук мови у визначеному фонетичному контексті з відповідною йому буквою українського алфавіту.

Перш ніж перейти до математичного опису фонетичного відношення, уведемо формальне визначення фонем як знаку. Це визначення фонем для української мови можна записати у вигляді наступного індивідуального предиката [1]:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{он}}(X) = & x^a \vee x^b \vee x^c \vee x^d \vee x^e \vee x^f \vee x^g \vee x^h \vee x^i \vee x^j \vee x^k \vee x^l \vee \\ & x^m \vee x^n \vee x^o \vee x^p \vee x^q \vee x^r \vee x^s \vee x^t \vee x^u \vee \\ & x^v \vee x^w \vee x^x \vee x^y \vee x^z \vee x^{aa} \vee x^{ab} \vee x^{ac} \vee x^{ad} \vee x^{ae} \vee x^{af} \vee x^{ag} \vee x^{ah} \vee x^{ai} \vee x^{aj} \vee x^{ak} \vee x^{al} \vee x^{am} \vee x^{an} \vee x^{ao} \vee x^{ap} \vee x^{aq} \vee x^{ar} \vee x^{as} \vee x^{at} \vee x^{au} \vee x^{av} \vee x^{aw} \vee x^{ax} \vee x^{ay} \vee x^{az} \vee x^{aa} \vee x^{ab} \vee x^{ac} \vee x^{ad} \vee x^{ae} \vee x^{af} \vee x^{ag} \vee x^{ah} \vee x^{ai} \vee x^{aj} \vee x^{ak} \vee x^{al} \vee x^{am} \vee x^{an} \vee x^{ao} \vee x^{ap} \vee x^{aq} \vee x^{ar} \vee x^{as} \vee x^{at} \vee x^{au} \vee x^{av} \vee x^{aw} \vee x^{ax} \vee x^{ay} \vee x^{az} \end{aligned} \quad (5)$$

Твердження, що X є фонема, еквівалентне рівності $\Phi_{\text{он}}(X) = 1$.

У [7] побудовано математичні моделі букво-фонемних відношень для голосних та приголосних звуків української мови на підставі методики формального опису букво-фонемних правил рівняннями алгебри скінчених предикатів (АСП).

Для створення математичних моделей букво-фонемних відношень уведено 12 граматичних ознак фонем: y_1 — ознака голосності звуку із значеннями g — голосна, p — приголосна; y_2 — ознака шумності приголосних із значеннями sh — шумова, n — не шумова; y_3 — ознака вокалізації звуку із значеннями dz — дзвінка, g — глуха; y_4 — ознака проривності звуку із значеннями pr — проривна, sh — щільна; y_5, y_6 — ознаки веляризації та лабілізації звуку із значеннями m, c, v — мала, середня, велика відповідно; y_7 — ознака палаталізації із значеннями t, m — тверда, м'яка відповідно; y_8 — ознака назалізації із значеннями r — ротова, n — носова; y_9 — вібрантизності із значеннями s — спокійна, t — тремтяча; y_{10} — місця артикуляції звуку g — губна, p — передньоязикова, z — задньоязикова; y_{11} — ознака передньоязикової шумової фонемі із значеннями z — зубна, p — піднебінна; y_{12} — ознака африкативності передньоязикових шумових фонем із значеннями a — африката, n — не африката.

Під час переходу від фонетичних ознак до фонетичного зображення звуку формується фонема — знак, що позначає клас звуків, які тяжіють до певної букви тексту. Зворотне перетворення забезпечує заміну фонетичного знака набором відповідних йому значень фонетичних ознак звуку. Процедури таких перетворень детально розроблено і описано в [1] і тут не наводяться, щоби за дрібними деталями не втратити картину загального підходу.

Моделювання букво-фонемних відношень голосних і приголосних української мови здійснюється за допомогою рівнянь АСП, що зв'язують між собою звук Y мови, який перебуває у певному фонетичному контексті Z , та його графічне зображення X :

$$F(X, Y, Z) = 1, \quad (6)$$

де X — алфавіт української мови; Y — звуки української мови; Z — фонетичний контекст.

У рівняннях типу (6) звук мови подається у вигляді вектора $Y = (p, q, t)$ із компонентами p, q, t , що виконують роль фонетичних ознак, суть яких описана нижче. Як формальний еквівалент впливу фонетичного контексту в [1] розглядається сукупність ознак (p_w, q_w, p_v, q_v) . Відповідно еквівалентом впливу наголосу є змінна t . Набір змінних (X_1, \dots, X_{32}) характеризує графічне зображення звуку.

Традиційний опис фонетики української мови використовує поняття фонетичного пом'якшення [1]. Будь-якому звуку мови властиве одне з двох можливих значень цієї ознаки: t — тверда, m — м'яка. У букво-фонемній моделі даний елемент характеристики подається змінною q . Наступна логічна рівність формально визначає область зміни для уведеної змінної:

$$q^T \vee q^M = 1. \quad (7)$$

Під час опису букво-фонемного відношення наступним є поняття наголошення. Воно визначає інформацію про наявність чи відсутність наголосу

голосного звуку, що розглядається. Для формалізації граматичної *категорії наголошування* скористаємось змінною t із області визначення, що складається з трьох можливих значень даної категорії:

$$t_3 \vee t_2 \vee t_1 = 1, \quad (8)$$

де 3 — біжучий голосний звук, який перебуває у наголошеному складі, 2 — у переднаголошеному складі, 1 — у решті складів слова.

Уведемо сукупність змінних Q_z , необхідних для формального опису понять, зв'язаних із визначенням *фонетичного контексту*. До таких понять відноситься опис фонетичних позицій абсолютного початку та абсолютного кінця слова, середини слова, сусідства з м'якими чи твердими голосними й приголосними; опис передвокальної, поствокальної та інтервокальної позицій, положення після чи до групи приголосних, різних за місцем та способом утворення, за участю голосу тощо. Множину змінних Q_z назвемо *характеристикою фонетичного контексту*.

Для того, щоби виразити залежність між звуком Y та характеристикою фонетичного контексту Z у вигляді логічних рівнянь, знадобляться змінні, що описують оточення звуку в слові, що досліджується. Позначимо змінною u звук слова, що безпосередньо йде за досліджуванним звуком y . Якщо звук Y перебуває в положенні абсолютного кінця слова, приймаємо $u = -$. Областю визначення змінної u будемо вважати множину всіх звуків української мови. Позначимо предикат, що стоїть у лівій частині рівняння (3) через $J_1(p)$, тоді область зміни змінної u може бути задана рівнянням

$$J_1(p_u) = 1. \quad (9)$$

Предикат $J_1(p_u)$ відповідає поняттю «звук української мови». Звук, що передує біжучому звукові слова, експлікуємо за допомогою літерної змінної v . Якщо Y звучить на початку слова, то приймаємо $v = L$.

На підставі вивчення даних фонетики і орфографії української мови в [1] розроблено систему фонетичних ознак, а також систему предикатів для формального опису системи фонетичних ознак, що дозволяє здійснювати їх автоматичне оброблення. Розроблено методику формального опису букво-фонемних відношень, побудовано математичні відношення голосних та приголосних звуків української мови, на основі яких формалізуються закономірності поєднання голосних і приголосних букв та звуків, що утворюють пари за дзвінкістю-глухістю й твердістю-м'якістю, а також поза парних приголосних. Розроблено математичну модель акцентних характеристик української мови. Усі ці результати дозволяють отримати компакту модель для економного запису словників природної мови в пам'яті ЕОМ.

Із допомогою опису букво-фонемних зв'язків у вигляді системи рівнянь АСП можна в інтелектуальному інтерфейсі здійснити формальний перехід

від фонетичного запису слова до його графічного зображення (задача фонетичного аналізу), за даним орфографічним текстом отримати його фонетичну транскрипцію (задача синтезу мови), а також перейти до системного та структурного синтезу процесорів функціонально-зорієнтованих на аналіз та синтез мови, які є необхідною складовою частиною систем штучного інтелекту.

5. Морфологічний аналіз

Морфологічний аналіз — це оброблення слів без зв'язку з контекстом. Словоформа — це відтинок тексту між двома просвітками. Розділові знаки вважаються окремими словоформами.

У центрі уваги морфології стоїть слово з його граматичними змінами. У лінгвістичній літературі термін «морфологія» вживається для позначення відповідної системи всередині мови, у яку входить словозміна (словотворення розглядається як самостійна система) [1].

Під словозміною розуміється утворення форм одного й того ж слова, що існує в мові, як система форм (словоформ). Словоформи «можна визначити, як регулярні видозміни слова, об'єднані тотожністю його лексичного значення й неоднаковими морфологічними значеннями» [1]. Запропоноване визначення охоплює такі зміни, за яких зберігається цілим лексичне значення слова.

Нижче об'єктом формального опису є письмова, тобто орфографічна, а не фонематична реалізація словоформ української мови. Така форма запису усуває необхідність додаткового оброблення під час введення/виведення текстів, а також дозволяє усунути із опису акцентний компонент. При цьому окремою словоформою є відтинок тексту між двома проміжками.

Утворення слова звичайно відбувається за допомогою спеціальних словозмінних морфем. Під морфемою будемо розуміти мінімальну значущу одиницю мови: «Морфема — це найменша неподільна значуща частина слова, тобто одиниця мови, а в мові виступають окремі представники морфем, які зручно називати морфемами» [1].

За значеннями і функцією в структурі слова морфема поділяється на кореневі і службові. Морф — конкретний вияв морфем, найменша значуща частина, що виділяється у складі певної конкретної словоформи слова. Особливу роль під час словозміни відіграють закінчення словоформ (флексії), що передають, як правило, граматичні значення в українських словах. Закінчення завжди виступає в певній системі словозміни змінюваних частин мови.

Типи відмінювання іменників, прикметників, числівників, займенників розрізняються системою закінчень, які виражають граматичні значення відмінка, роду і числа або лише відмінка (в кількісних числівниках). Наприклад у іменників флексії

завершують матеріальну побудову, закріплюють лексико-граматичне значення слів, сприяють відображенню таких категорійних ознак як рід, одухотвореність, число, відмінок. Дієслова мають складну систему дієвідмінювання за особами, родами і числами, основними показниками яких є особово-, родово-числові флексії.

Будемо класифікувати флексії на регулярні та нерегулярні. Регулярні флексії — найрозповсюдженіші й приймаються за норму. Описана нижче математична модель базується на формальній моделі морфології української мови.

У морфології української мови існує певна залежність (відношення) між флексією та оточуючим її текстом. Завдання полягає у математичному описі існуючої залежності, тобто у формалізації поняття флексії. Текст, що охоплює закінчення, є неоднорідним щодо нього. Будемо розрізняти найближчий текст (що межує безпосередньо із закінченням у словоформі) і подальший текст (що межує з словоформою, у якій перебуває закінчення, що нас цікавить).

У роботі [1] введено поняття текстового відношення $T(X, Y)$, де X — набір граматичних ознак, що виділяє підмножину усіх текстів із деякої множини різноманітних рядків обмеженої довжини, упорядкованих із букв скінченного алфавіту; Y — текст. Текст розглядається як багаторівнева структура, у якій із букв утворюються морфи, а з морфів — словоформи, із словоформ — речення, та з речень — абзаци. Окремі частини цієї конструкції названі фрагментами тексту (букви, морфи, словоформи, речення, тощо). У математичній моделі системи української словозміни, як фрагмент тексту виступають словозмінні морфеми, що можуть бути суфіксами й закінченнями. Враховуючи висловлене раніше зауваження щодо ролі флексій у процесах словозміни, зосередимо подальший розгляд на методиці формального опису процесів зміни слів (за допомогою флексій), що можна застосувати й до інших лінгвістичних одиниць тексту.

Дію тексту, що оточує закінчення (як ближчого, так і подальшого), замінимо введенням деякого набору ознак, який проінтерпретуємо як *смысл закінчення* [1]. Під *смыслом* будемо розуміти набір проміжних змінних, що зв'язують рівняння, які описують закінчення, з рівняннями, що описують решту частини тексту. Набір значень цих змінних будемо інтерпретувати як значення *смыслу*. *Смысл* розглядається як змінний вектор $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$, де m — число компонентів вектора *смыслу*, а змінні X_1, X_2, \dots, X_m — компоненти *смыслу*.

Нехай Y_1, Y_2, \dots, Y_n — закінчення, де значенням Y_i служить i -а за рахунком буква закінчення. Набір $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ буквених змінних Y_1, Y_2, \dots, Y_n назовемо *змінним закінченням*, набір значень цих змінних — *індивідуальним закінченням* чи просто закінченням. Змінні змінного закінчення, їх значення назовемо значеннями компонентів закінчення.

Під час побудови математичної моделі флексії описується *фрагментне морфологічне* відношення $L(X, Y)$, що відтворює зв'язок між *смыслом* X і змінним фрагментом (флексійним морфом) тексту Y . Параметрами введеного відношення можуть бути будь-які із компонентів вектора *смыслу*. При цьому $X \in H, Y \in M$, де H — множина наборів значень компонентів *смыслу*, M — множина різних послідовностей скінченної довжини, упорядкованих із букв українського алфавіту та символу проміжка (L —), що служить для заповнення вільних від букв позицій у закінченнях.

Вважаємо, що морфологічне відношення $L(X, Y)$ виконується тоді і тільки тоді, коли Y передає значення компонентів *смыслу* X . Мовна практика говорить про те, що результат перевірки умови виконання морфологічного відношення має бути однозначним (у протилежному випадку людина не змогла б ефективно формувати тексти).

Згідно з викладеним вище принципом однозначності, закінчення завжди однозначно залежить від *смыслу*. Цей принцип можна інтерпретувати як вимогу повноти набору ознак (компонентів *смыслу*), із допомогою якого здійснюється вибір індивідуального закінчення. Набір ознак будемо називати повним, якщо він при будь-яких значеннях ознак забезпечує однозначність вибору відповідної йому флексії. У якості *смыслу* приймемо будь-який набір ознак, що задовольняє вимозі повноти. Під повним *смыслом* флексії будемо розуміти набір, складений з деяких компонентів вектора *смыслу* X . *Смысл* флексії, у прийнятому раніше значенні, будемо називати *повним смыслом*. Поняття повного й неповного *смыслу* флексії введено за аналогією з відповідними поняттями для фрагменту тексту. Моделювання фрагментного відношення необхідно почати з вибору структури багатоконпонентних векторів X та Y . Як компоненти вектора Y необхідно вибрати букви закінчення. При цьому нумерація букв ведеться в межах флексії зліва направо. Що ж стосується вибору структури вектора *смыслу* X , то тут значно все складніше.

Для того, щоб отримати компактний та повний опис фрагментного морфологічного відношення $L(X, Y)$, необхідно вибрати компоненти вектора X із урахуванням внутрішньої структури мови. Для раціонального вирішення цього завдання будемо спиратися на поняття, сформульовані морфологією української мови. Критерієм під час оцінки припустимості вжитку того чи іншого поняття, виробленого мовознавством, має бути, очевидно, успіх формалізації природної мови. Через те, що об'єкт, який моделюється, є достатньо складною для математичного опису системою, зручно розбити його на ряд підсистем (які будемо надалі називати «мовними блоками»), що пізніше об'єднуються теоремою про розкладання в алгебрі скінченних предикатів [2].

Для кожного мовного блоку фіксують значення деяких із компонентів смислу, які ми назвемо обмеженими. Наприклад одним із таких компонентів смислу може бути ознака частини мови, що дозволяє формалізувати флексійне оброблення кожної частини мови окремо. Другу групу ознак, що служать безпосередньо для вибору закінчення усередині деякого мовного блоку, назвемо змінними. Необхідно відзначити, що назви двох груп ознак умовні, оскільки насправді всі компоненти вектора смислу є змінними. Обмежувальним ознакам поставимо у відповідність змінну ξ , а змінним — X . Таким чином, маємо можливість уточнити структуру вектора смислу $X = (\xi, X) = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k, X_1, X_2, \dots, X_l)$, де k, l — число обмежувальних та змінних компонентів вектора смислу відповідно.

Змінні ознаки в свою чергу неоднорідні щодо закінчення. Раніше вже підкреслювалася неоднорідність тексту, що оточує флексію. Впливові ближнього тексту на закінчення будуть відповідати лексичні ознаки, а подальшого — синтаксичні.

Щоби визначити склад змінних ознак математичної моделі, необхідно сформулювати таку вимогу до неї: закінчення Y , яке перебуває в морфологічному відношенні зі смислом X , має однозначно визначатися смислом (у відповідності з принципом однозначності). Унаслідок цього, до складу змінних компонентів вектора смислу включенні як словозмінні категорії (для прикметників — рід, число, відмінок), так і несловозмінні, але такі, що керують утворенням різних варіантів форм. Наприклад наявність у деяких слів сучасних та архаїчних варіантів форм: уста, перст — *архаїчне*, губи, палець — *сучасне*. Тому до складу змінних ознак включено ознаку зі значеннями: сучасне (с), архаїчне (а). Не завжди закономірності в утворенні варіантів форм настільки очевидні, що їм можна поставити у відповідність будь-яку морфологічну категорію. У подібних випадках будемо вводити так звані умовні морфологічні категорії, що відповідають простому перерахуванню варіантів форм.

Отже, завдання полягає у формальному описі засобами АСП фрагментного морфологічного відношення $L = (\xi, X) = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k, X_1, X_2, \dots, X_l, Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, що буде моделлю флексійного оброблення українських словоформ. Морфологічне відношення визначається своєю характеристичною функцією $L_\varphi(X, Y)$, що задається наступним чином:

$$L_\varphi(X, Y) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } X \text{ і } Y \text{ зв'язані} \\ \text{морфологічним відношенням;} \\ 0, \text{ у протилежному випадку.} \end{cases} \quad (10)$$

Відношення (6) є предикатом, визначеним на скінченній множині предметної галузі. Він дозволяє інтерпретувати різноманіття граматичного оброблення українських флексій (аналіз, синтез, нормалізація, корегування помилок, тощо) із допомогою розв'язків канонічних рівнянь виду $L_\varphi(X, Y) = 1$.

Подамо морфологічну функцію у явному вигляді:

$$y_j^\sigma = F_\sigma(\xi, X), 1 \leq j \leq n. \quad (11)$$

Вона буде описана, якщо нам вдасться подати у вигляді формул предикати F_σ , де σ належить множині значень, які приймають букви закінчень. Предикати $F_\sigma(\xi, X)$ задаються різноманітними ідентифікаторами (розпізнавачами) y_j^σ для змінної y_j .

Тут прийнято паралельний метод опису множини флексійних морфів [1], згідно із яким утворюється множина місць для усіх флексій, що підлягають опису. Кожному місцю j ставиться у відповідність своя змінна y_j . Як формальний еквівалент флексії приймаємо набір значень усіх змінних y_j . Значенням змінної y_j є стан місця j для індивідуального морфа.

Таким чином, задача опису множини флексійних морфів зводиться до формального опису функції виду:

$$y_j^\sigma = F_\sigma(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k, X_1, X_2, \dots, X_l), 1 \leq j \leq n.$$

Висновки

На підставі вивчення даних фонетики і орфографії української мови та за допомогою опису буквофонемних зв'язків у вигляді системи рівнянь АСП можна:

- в інтелектуальному інтерфейсі здійснити формальний перехід від фонетичного запису слова до його графічного зображення (задача фонетичного аналізу);
- за даним орфографічним текстом отримати його фонетичну транскрипцію (задача синтезу мови);
- перейти до системного та структурного синтезу процесорів, функціонально-зорієнтованих на аналіз та синтез мови, які є необхідною складовою частиною систем штучного інтелекту.

Список літератури:

- [1] Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основи теорії синтезу надшвидкодійних структур мовних систем штучного інтелекту. — К.: ІЗМН, 1997. — 264 с.
- [2] Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основи теорії багатозначних структур і кодування в системах штучного інтелекту. — Х.: Фактор-Друк, 2003. — 336 с.
- [3] Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Проблеми інтелектуалізації та українізації цифрових систем та мереж телекомунікацій // Труды УНИИРТ. — 1995. — № 4. — С. 72–81.
- [4] Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Аналіз лінгвістичних зв'язків елементів фонетичного рівня української мови // Праці УНДІРТ. — 1996. — № 1(5). — С. 70–77.
- [5] Четвериков Г.Г., Ляховець С.В., Коноплянко З.Д., Колесник А.С. Аналіз та дослідження букво-фонемних відношень української мови // Праці УНДІРТ. — 2001. — № 1(25). — С. 79–83.
- [6] Лачинов В.М., Поляков А.О. Информодинамика или Путь к Миру открытых систем. — Санкт-Петербург: Издательство СПбГТУ. — 1999. — 432 с.
- [7] Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Теория интеллекта. Проблемы и перспективы. — Харьков: Вища шк., 1987. — 160 с.

Надійшла до редколегії 28.04.2020 р.