

АКСІОМАТИЗАЦІЯ ПРОСТОРУ СЕНСУ ОБРАЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Розглянуто методологію конструктивної побудови бази знань когнітивної системи на основі фіксації подій, що складаються з образів та асоціативних зв'язків між ними. Запропоновано аксіоматичний підхід до визначення σ -кінцевого простору сенсу образних конструкцій.

Рассмотрена методология конструктивного построения базы знаний когнитивной системы на основе фиксации событий, состоящих из образов и ассоциативных связей между ними. Предложен аксиоматический подход к определению σ -конечного пространства смысла образных конструкций.

Methodology of structural build of knowledge base of cognitive system is considered on the basis of fixing of events, consisted of images and associative connections between them. The axiomatic approach to determination of σ -ended space of sense of imaging constructions is suggested.

В сучасних умовах розвитку глобальної мережі Інтернет інформаційна безпека військової сфери вимагає розробки та впровадження автоматизованих засобів пошуку та знешкодження джерел, що загрожують розкриттю військових таємниць держави. Ця, як і обернена до неї задача інформаційної розвідки, значно ускладнюються при щорічному експоненційному збільшенні поля пошуку доступних з Інтернет документів. З точки зору ефективності розв'язку такого типу задач зростає актуальність побудови інтелектуальних технологій пошуку інформації за її змістом, а не за статистичними та іншими формальними ознаками. Тому дослідження в цьому напрямі пов'язані з однією з ключових проблем штучного інтелекту – семантичним аналізом і синтезом текстової інформації [1].

Принципово суб'єктивний характер будь-якого мовного висловлювання спирається на семантичні засоби лексики, що відображається у його змісті (значенні). З іншого боку, висловлювання завжди спрямоване на досягнення певної внутрішньої мети (мотиву, потреби) суб'єкта, тобто має прагматичну характеристику у вигляді сенсу цього акту мовлення. І хоча семантика та прагматика мовного висловлювання тісно пов'язані між собою, історична традиція математичної лінгвістики віддає безумовну перевагу першій складовій [2]. Чи не вперше поняття змісту з'явилося в роботах Московської семантичної школи, де закладено витоки моделі «Зміст – текст». Під змістом висловлювання розумілося послідовне накопичування лінгвістичних відношень для ланцюга морфологія – синтаксис – семантика в умовах інтегрального опису словарної та граматичної компонент мови [3]. Проте формальне визначення змісту і натепер значно поступається природному, наприклад, в системах машинного перекладу. Це яскраво ілюструється парадоксом розуміння «смысла речи» неосвіченими людьми, які не тямлять у лінгвістиці, але чудово орієнтуються в бажаннях співрозмовника.

Проблема дослідження також тісно пов'язана з теорією інформації та спорідненими з нею теоріями ймовірностей і нечітких множин. Цінність інформації за Харкевичем пропорційна збільшенню імовірності досягнення системою мети [4], проте цей показник відображає, насамперед, прагматичну сторону повідомлення і лише опосередковано враховує семантичну. Функція належності в нечіткій логіці акумулює суб'єктивне бачення експерта відносно належності певного елемента до деякого класу елементів [5], але будується на описовому принципі і не супроводжується конструктивним алгоритмом свого визначення без участі експертів.

Формальною структурою для оцінки змісту речення на природній мові може служити штучна нейронна мережа, при цьому нейрон застосовується як математична основа кванту змісту, що масштабується для символу, частини слова, слова, словосполучення, речення, абзацу, всього тексту [6]. Такий підхід передбачає, що зміст тексту або іншого мовного поняття закладено у предикат, що приймає значення «істина» чи «неправда», проте окрім верифікації повідомлень залишаються відкритими питання синтезу, наприклад, генерація адекватного відгуку системи на зовнішні впливи.

В роботі [7] запропоновано використати для вивчення природної мови таку комп'ютерну модель «дитини», в яку не закладено лінгвістичні знання. Схожі думки висловлювалися А.Тьюрингом ще на початку становлення штучного інтелекту як наукового напрямку, а тому в роботі [8] послідовно розглянуто онтогенетичний підхід до моделювання підвалин мовленнєвої діяльності – образного мислення людини. Такий підхід дозволяє природним шляхом оминати парадокс неосвіченої людини і передбачає зміну акценту з семантичного змісту на прагматичний сенс образних конструкцій (ОК), в тому числі конструкцій з мовних образів. Не вирішеним у межах онтогенетичного підходу лишилися питання кількісної оцінки та конструктивного вимірювання сенсу ОК.

Розглянемо когнітивну систему S за допомогою інфологічного аналізу її життєдіяльності [8]. Нехай S здатна розпізнавати образи з множини $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ та сприймати асоціативні зв'язки між парами образів як елементи множини $\omega \in \Omega$, де $\Omega \subseteq I \times I$ – довільна множина (простір) упорядкованих (асоціативних) пар. Для визначення ОК застосуємо поняття F – сигма-алгебри (σ -алгебри) підмножин з Ω . Далі будемо вважати ОК будь-яку підмножину F , в т.ч. $\Omega \in F$. Якщо, згідно з властивостями σ -алгебри [9], множини $A, B \in F$, то об'єднання, перетин і різниця A та B у теоретико-множинному сенсі також належать F .

Згідно з концепцією образного мислення [8] когнітивна система S обмінюється інформацією з зовнішнім світом як чорним ящиком виключно у вигляді ОК, з яких розрізняють послідовність вхідних подій $X = \{x_1, x_2, \dots\}$ та множину образних реакцій системи $Y = \{y_1, y_2, \dots\}$ (рис.1).

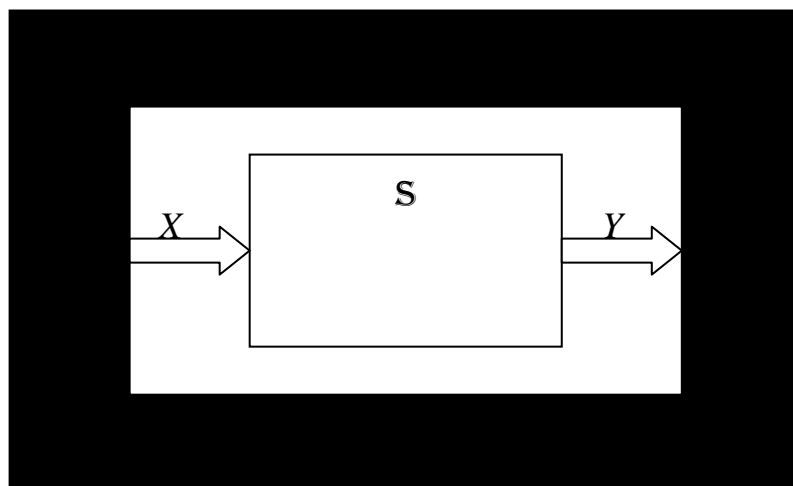


Рис.1 – Схема взаємодії когнітивної системи S з зовнішнім чорним ящиком

Всі елементи потоків $x_i \in X$ та $y_i \in Y$ будемо вважати ОК з обмеженням на зв'язність, оскільки у випадку мовних образів вхідна подія або образна реакція системи може бути описана за допомогою синтагми – простого оповідного речення. Не обмежуючи загальності, простір асоціативних пар системи S представимо у вигляді орієнтованого графу $G = \{V, E\}$ з множинами вершин $V \subseteq I$ та ребер $E \subseteq I \times I$. Тепер

визначимо конструкції мовних образів (КМО) як дерева $T = \{V_T, E_T\}$, $V_T \subseteq V$, $E_T \subseteq E$ на основі рекурсивної процедури через асоціативну пару. Мається на увазі:

- a) T є пара $(a, b) \in E$, тобто $V_T = \{a, b\}$, $E_T = (a, b)$;
- b) якщо T – це КМО, то $T \oplus (a, b)$ також є КМО тоді і тільки тоді, коли $a, b \in V$, $(a \cup b) \in V_T$, $(a, b) \notin E_T$, де \oplus – операція об'єднання графів;
- c) ніяких інших, окрім a) та b) КМО не існує.

Тоді $X \subseteq T$ та $Y \subseteq T$, а **задача дослідження** полягає у наступному:

1. Визначити конструктивні принципи побудови бази знань системи **S**, які б забезпечували онтогенетичне накопичення інформації з X та формування Y задля досягнення мотиваційної мети системи.
2. Аксиоматично забезпечити можливість вимірювання та кількісної оцінки сенсу всіх ОК з G та КМО з T .

Критерії розуміння сенсу образних конструкцій [8] передбачають необхідність оцінювання відгуку когнітивної системи **S** на зовнішню образну ситуацію шляхом порівняння результатів цього відгуку з мотиваційною метою системи. Для здійснення такого оцінювання введемо метрику Se у просторі асоціативних пар образів Ω .

Введення метрики буде ґрунтуватися на аксиоматичній системі теорії розуміння сенсу ОК (в т.ч. і КМО). В систему аксіом закладемо сенс як головний кількісний показник

Введемо формальні визначення понять мотиваційної мети та емоційного стану системи **S**. Аналіз літератури з психології дає підстави вважати [7,8], що у людини існує ціла ієрархія з багатьох потреб, але у кожний момент часу тільки одна з цих потреб домінує і сприймається за мотиваційну мету. Припустимо, що існує внутрішній механізм підтримки життєздатності системи **S**, який за певним алгоритмом генерує для неї задачі у вигляді нагальних потреб. Тоді мотиваційною метою будемо вважати один з відомих системі образів $i' \in I$. За емоційний стан системи приймемо показник Em , який свідчить про наближення до або віддалення від мотиваційної мети. Тому варто задати $Em \in [-1, 1]$ з відокремленням трьох ключових станів: (-1) – повний негатив, (0) – нейтральний стан та (1) – ейфорія.

Під суб'єктивним сенсом Se ОК або КМО будемо розуміти уявну міру доцільності саме такого поєднання образів з точки зору наближення до поточної мотиваційної мети i' системи **S**. Сенс будь-якої ОК базується на питомій вазі цієї конструкції в зафіксованій індивідуальній статистиці подій та реакцій когнітивної системи, що мають психофізіологічну основу. Зробимо також припущення про те, що сенс ОК, окрім зовнішньої статистики, залежить також від:

- a. поточного емоційного стану Em системи **S**, який, у свою чергу, залежить від відстані системи до мотиваційної мети i' ;
- b. зовнішнього підкріплення–ослаблення реакцій системи, що вже мали місце для подібної мотиваційної мети i' в минулому (наслідкам навчання).

Задамо тепер базу знань системи **S** як граф $G = \{V, E\}$, що має певні

особливості, за допомогою матриці суміжності A . Позначимо у вигляді $a_{ij} = |i, j| \in R^+$ вагу ребра $(i, j) \in E$ з метою отримання одиниці сенсу – числової характеристики асоціативного зв'язку між i -м та j -м образами. Максимально міцний асоціативний зв'язок між двома образами можна вважати природною одиницею сенсу, яку, зважаючи на шлях її виникнення назвемо один САВ (Синтагматичної Асоціації Вага).

Англійський еквівалент SAW (Syntagmatic Associative Weight) такої назви звучить схоже, окрім цього *Saw* – друга форма неправильного дієслова *to See* – перекладається як «побачене», що додатково підкреслює образну основу отримання сенсу. Висунемо наступні вимоги до формальних особливостей матриці A :

- 1) $|i, i| = 0$ – головна діагональ матриці складається з нульових елементів, оскільки КМО на зразок пари «масло – масляне» не мають сенсу;
- 2) $|i, j| \in [0, 1]$ – значення 0 відповідає відсутності зафіксованого системою зв'язку, а значення 1 – зв'язку з найбільшою силою з можливих (1 САВ);
- 3) $\exists i \in V \quad |i, j| \neq |j, i|$ – матриця A несиметрична відносно головної діагоналі, тобто $A \neq A'$;
- 4) $|i, j| = F_{ij}(t, k_{ij})$ – в загальному випадку вага ребра залежить від часу та психофізіологічної статистики k_{ij} повторень зв'язку (i, j) в зовнішніх подіях X .

Задача 1. тепер зводиться до побудови конструктивного алгоритму генерації елементів a_{ij} матриці A на основі даних спостереження за системою S . Йде мова про визначення такої функції сенсу для асоціативної пари, що забезпечує неоднорідність когнітивної системи в теорії розуміння за аналогією до теорії ймовірностей і теорії можливості. Виходячи з висунутих раніше припущень пропонується послідовна побудова функції сенсу Se у вигляді 5-ти формальних рівнів:

I. *Рівень стороннього спостерігача* – фіксація кількості повторень k_{ij} асоціативного зв'язку (i, j) з X – лінійна функція $Se_{ij} = k_{ij}$ у вигляді матриці суміжності A , де $a_{ij} = k_{ij}$.

II. *Рівень імовірнісного прогнозування* – розрахунок статистичних оцінок λ (математичного сподівання) та D (дисперсії): якщо $m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}$, а n' – кількість

ненульових елементів матриці A , то $\lambda = m/n'$, $D = \frac{1}{n'} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (k_{ij} - \lambda)^2 \mid k_{ij} > 0$ – в цьому випадку маємо функцію $Se_{ij} = F_2(k_{ij}, \lambda, D)$.

III. *Рівень врахування емоційного стану* – визначення показника емоційного стану $\mu = \{1, 2, \dots\}$, тоді $Se_{ij} = F_3(k_{ij}, \lambda, \mu) = 1/(1 + e^{-\mu \frac{k_{ij} - \lambda}{\lambda}})$. Визначення залежності емоційного стану Em від показника μ потребує подальших досліджень, проте загальний вигляд сигмоїдальної функції F_3 зображено на рис.2.

IV. *Рівень врахування мотиваційної компоненти на основі образів-центрів потреб* – якщо $\sigma = \sqrt{D}$, то в залежності від ступеня наближення образу до одного з образів-центрів потреб (i') EMBED Equation.3, де $l = \{1, 2, 3\}$, а $Se_{ij} = F_4(k_{ij}, \lambda_{ij}, \mu, i')$.

V. *Рівень врахування рефлексів та зовнішнього навчання* – в залежності від попередньої статистики результатів реакції на аналогічну образну ситуацію, пов'язану з вхідною подією (x') та мотиваційною метою (i') для певної підмножини зв'язків $E' \subset E$ застосовується посилення-послаблення $\lambda_{ij} = \lambda \pm l \cdot \sigma$, де $l = \{1, 2, 3\}$, зрештою маємо $Se_{ij} = F_5(k_{ij}, \lambda_{ij}, \mu, i', x')$.

Зауважимо, що запропонована концепція функції сенсу Se вимагає побудови додаткових алгоритмів визначення поточних образів-центрів потреб (рівень IV) та накопичення статистики для ситуацій зовнішнього навчання (рівень V).

Розглянемо аксіоматичну систему теорії розуміння сенсу ОК на основі закладеної в концепцію σ -алгебри F підмножин Ω . Під простором сенсу будемо розуміти трійку (Ω, F, Se) , де Se — міра сенсу або власне сенс, тобто σ -адитивна

кінцева міра, така що $Se(\Omega) < \infty$. Міра Se вважається σ -кінцевою, оскільки існує рахункове сімейство множин, що вимірюється $\{A_i\}_{i=1}^{\infty} \subset \mathbf{F}$, таке що $Se(A_i) < \infty, i \in N$ та $\Omega = \bigcup_{i=1}^{\infty} A_i$.

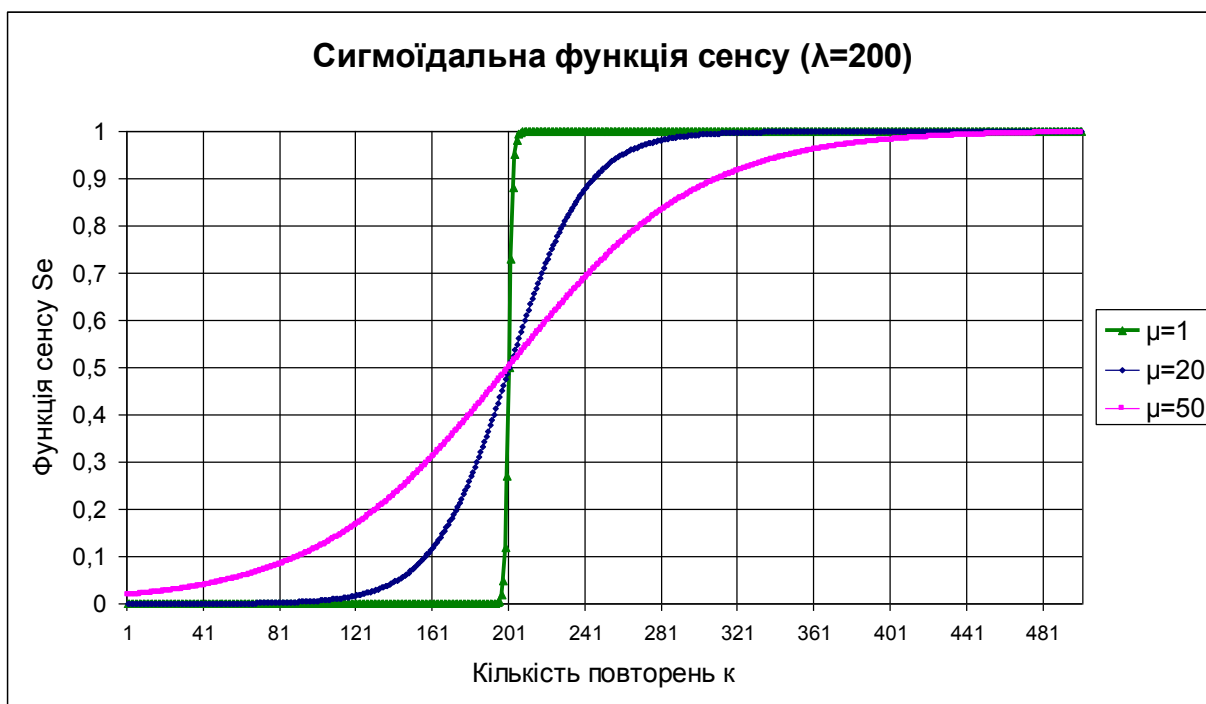


Рис.2 – Залежність функції сенсу Se для $\lambda = 200$ від значення μ

Будемо вважати функцію сенсу $Se: \mathbf{F} \rightarrow [0, \infty[$ рахунково-адитивною (або σ -адитивною) мірою, оскільки вона задовольняє наступним аксіомам:

1. $Se(\emptyset) = 0$.
2. (σ -адитивність): якщо $\{A_i\}_{i=1}^{\infty} \subset \mathbf{F}$ — рахункове сімейство множин з \mathbf{F} ,

що попарно не перетинаються, тобто $A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j$, то $Se(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i) = \sum_{i=1}^{\infty} Se(A_i)$.

Використання σ -кінцевої міри Se призводить до того, що весь простір сенсу може бути представленим у вигляді рахункового об'єднання множин, що вимірюється з кінцевою мірою.

Аналогічно аксіомам Колмогорова для елементарної теорії ймовірностей [9] та з урахуванням раніше введених позначень введемо аксіоматику теорії розуміння сенсу образних конструкцій.

Аксіома I (алгебра ОК). \mathbf{F} являє собою алгебру ОК.

Аксіома II (існування сенсу ОК). Кожній ОК x з \mathbf{F} ставиться у відповідність невід'ємне дійсне число $Se(x)$, яке має назву сенсу ОК x .

Аксіома III (кінцевість сенсу). $Se(\Omega) < \infty$.

Аксіома IV (адитивність сенсу). Якщо ОК x та y не перетинаються, то $Se(x + y) = Se(x) + Se(y)$.

Аксіома V (аксіома неперервності). Для послідовності, що спадає $x_1 \supseteq x_2 \supseteq \dots \supseteq x_n \supseteq \dots$ ОК з \mathbf{F} , такої що $\bigcap_n x_n = \emptyset$ має місце співвідношення $\lim_{n \rightarrow \infty} Se(x_n) = 0$.

Сукупність об'єктів (Ω, \mathbf{F}, Se) , що задовольняють **аксіомам I—IV**, будемо в подальшому називати простором сенсу. Система **аксіом I—IV** не має протиріч, проте

не є повною. З іншого боку, особливість **аксіому III** даної теорії віддаляє її від теорії ймовірностей та наближає до теорії можливостей з формальної точки зору. Так, не дивлячись на те, що $\forall \omega | \omega \in \Omega, Se(\omega) \leq 1$, очевидним наслідком з **аксіом** є

$\exists x | x \in \mathbf{F}, Se(x) > 1$ при зростанні кількості n образів, що розпізнаються системою **S**.

Аналогічно теорії множин задамо також *означення 1*: якщо ОК x та y перетинаються, то $Se(x + y) = Se(x) + Se(y) - Se(x \cap y)$.

Покажемо, що можливість подання сенсу у числовому вигляді також дозволяє розглядати простір упорядкованих пар образів Ω як топологічний і квазіметричний.

Простір асоціативних пар Ω є топологічним, оскільки множина \mathbf{F} її підмножин є топологією на Ω , для якої виконуються умови [10]:

1) $\Omega \in \mathbf{F}, \emptyset \in \mathbf{F}$ – множина Ω і пуста множина належать \mathbf{F} ;

2) об'єднання та перетин довільного сімейства множин, що належать \mathbf{F} , належить \mathbf{F} (згідно з властивостями σ -алгебри).

Топології мають специфічні властивості, які мають назву аксіом сепарабельності [11]:

Аксіома T0 (аксіома Колмогорова). Для будь-яких двох точок Ω , що не збігаються, хоча б одна з них має окіл, що не містить іншу.

Аксіома T1. Для будь-яких двох точок Ω , що не збігаються, кожна з них має окіл, що не містить іншу точку.

Аксіома T2 (аксіома Хаусдорфа). Для будь-яких двох точок Ω , що не збігаються, у кожній з них можна вибрати по околу таким чином, щоб ці околи не перетинались.

Грунтуючись на сепарабельності топології визначимо поняття ε -околу для простору упорядкованих пар образів Ω . З цією метою задамо *означення 2*: ε -околом асоціативної пари $\omega \in \Omega$ є підмножина $\Omega^\varepsilon \subset \Omega$, така що для будь-якої пари $\omega_i \in \Omega^\varepsilon$ виконується умова $|Se(\omega_i) - Se(\omega)| < \varepsilon$.

Простір асоціативних пар Ω є квазіметричним простором [11], оскільки будь-яким двом елементам $\omega_i, \omega_j \in \Omega$ ставиться у відповідність невід'ємне число q таке, що $q(\omega_i, \omega_i) = 0$, а для будь-якої трійки $\omega_1, \omega_2, \omega_3 \in \Omega$ виконується нерівність трикутника $q(\omega_1, \omega_3) \leq q(\omega_1, \omega_2) + q(\omega_2, \omega_3)$ за умови, що квазівідстань $q(\omega_i, \omega_j) = |Se(\omega_i) - Se(\omega_j)|$. Простір Ω не можна вважати метричним простором, оскільки не виконується умова про те, що $q(\omega_i, \omega_j) = 0$ тоді і тільки тоді, коли $\omega_i = \omega_j$. Також неважко показати, що множина ОК з \mathbf{F} також є квазіпростором з квазівідстанню q .

Отримані результати аксіоматизації теорії розуміння сенсу ОК дозволяють перейти до практичних питань синтезу когнітивних систем типу **S** та їх компонентів, де пріоритетним напрямком можна вважати генерацію КМО з множини реакцій X на події з множини Y . Зрозуміло, що повноцінне формування таких образних реакцій можливе лише за умови створення алгоритмів, що забезпечують рівні IV та V побудови функції сенсу Se . З іншого боку, застосування лише цієї функції не вирішує проблему синтезу повністю, оскільки збільшення сенсу реакції за рахунок збільшення кількості асоціативних пар в КМО навряд чи є правильним шляхом. Скоріше для створення відповідного критерію варто запропонувати обмеження за кількістю E_T (лаконічність висловлювання) та визначення α -необхідного рівня сенсу Se , що перетворює задачу на оптимізаційну аналогічно пошуку енергетичного мінімуму системи **S** і вимагає подальших досліджень. Проте, вже отримані в даній роботі результати дослідження

можуть стати формальними підставами для побудови інтелектуальних технологій підтримки інформаційної безпеки військової сфери.

Висновки.

На основі інфологічної моделі образного мислення в роботі введено формальні поняття мотиваційної мети та емоційного стану когнітивної системи **S**. Це дозволило визначити конструктивні принципи побудови бази знань системи **S** у вигляді матриці суміжності **A** на основі побудови функції сенсу **Se** для кожного асоціативного зв'язку між образами. Вперше запропоновано одиницю сенсу САВ та послідовне ускладнення функції сенсу **Se** на 5-ти формальних рівнях, чим забезпечено онтогенетичне накопичення інформації з вхідних подій **X** та формування образних реакцій **Y**.

В роботі вперше проведено дослідження простору сенсу (Ω, \mathbf{F}, Se) та введено аксіоматику теорії розуміння сенсу образних конструкцій. Показано відмінності запропонованої формальної системи від аксіоматики Колмогорова, зроблено необхідні означення, що дозволило розглядати простір упорядкованих пар образів Ω як топологічний і квазіметричний. Практичне значення отриманих результатів полягає в обґрунтуванні перспектив використання функції сенсу **Se** в якості головного критерію для синтезу образних реакцій **Y** задля досягнення мотиваційної мети системи **S**. Перспективними задачами можна вважати побудову механізму визначення поточних образів–центрів потреб та алгоритму набуття рефлексів (накопичення статистики для ситуацій зовнішнього навчання) у просторі сенсу (Ω, \mathbf{F}, Se) . Розв'язання цих задач дозволить закласти в технології інформаційної безпеки військової сфери компонент формального розуміння сенсу КМО.

ЛІТЕРАТУРА

1. Попов, Э.В. Общение с ЭВМ на естественном языке [Текст] / Э.В. Попов. – М.: Наука, 1982. – 360 с.
2. Елементи лексикографії: [Текст] : моногр. / В.А. Широков; Укр. мов.-інформ. фонд НАН України. – К.: Довіра, 2005. – 304 с.
3. Мельчук И.А. Русский язык в модели "Смысл - Текст" [Текст] / И.А. Мельчук. – М.: Языки русской культуры, 1995. – 682 с.
4. Харкевич, А.А. О ценности информации [Текст] / А.А. Харкевич // Проблемы кибернетики. – М.: Физматгиз, 1960. – Вып. 4. – С.53–57.
5. Заде, Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе [Текст] / Л.А. Заде // В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С. 172–215.
6. Дударь, З.В. Семантическая нейронная сеть, как формальный язык описания и обработки смысла текстов на естественном языке [Текст] / З.В.Дударь, Д.Е. Шуклин // Радиоэлектроника и информатика. Х.: Изд-во ХТУРЭ, 2000. – № 3. – С. 72–76.
7. Попов, Э.В. «Естественный» подход к обучению модели ребенка естественному языку [Электронный ресурс] / Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ–2006. – Режим доступа: www.raai.org/resurs/papers/kii-2006/doklad/Popov.doc – Обнинск, 25-28 сентября, 2006. – Загл. с экрана.
8. Бісікало, О.В. Концептуальні основи моделювання образного мислення людини [Текст] : моногр. / О.В. Бісікало. – Вінниця: ПП Балюк І.Б., ВДАУ, 2009. – 163 с.
9. Колмогоров, А. Н. Основные понятия теории вероятностей [Текст]: 2-е издание / А.Н. Колмогоров. – М.: Наука, 1974. – 120 с.
10. Коллатц, Л. Функциональный анализ и вычислительная математика [Текст] : пер. с нем. / Л. Коллатц. – М.: Мир, 1969. – 447 с.
11. Дубовой, В. М. Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами [Текст] : монографія / В.М. Дубовой, О. О. Ковалюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 185 с.

Рецензент: д.т.н., проф. Лисогор В.М. (ВДАУ)