

В.П. БОЮНІнститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: vboyun@gmail.com.

ЩОДО КОНЦЕПЦІЇ І СТРАТЕГІЇ СТВОРЕННЯ КІБЕРНЕТИЧНИХ СИСТЕМ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Анотація. Описано етапи створення систем зі штучним інтелектом, функціональні вимоги до них, принципи організації архітектури кібернетичних систем зі штучним інтелектом та підходи до реалізації складових цих систем. Розглянуто використання евристик, еволюційного підходу, методів планування експериментів, пристроїв знань, онтологій для опису і виділення знань із текстів, системного аналізу для структуризації проблеми тощо. Показано ефективність використання принципів кільцевої та лінійчатої організації рецептивних полів нейронів, типових режимів функціонування зорового аналізатора людини, принципів ієрархічного управління в інтелектуальних каналах сприйняття інформації й оброблення її в мозку та їхньої взаємодії, а також здатності до навчання на досвіді й адаптації.

Ключові слова: штучний інтелект, кібернетична система, міра змін, динамічна інформація, евристики, природи знань, еволюційні підходи, онтології, кільцева організація нейронів, ієрархічне управління, здатність до навчання та адаптації.

ВСТУП

Сьогодні розвиток штучного інтелекту (ШІ) є найбільш пріоритетним напрямом в ІТ-індустрії в усьому світі. Початок покладено, напевно, у 1979 р., коли японські спеціалісти в галузі обчислювальної техніки об'єднали свої зусилля зі створення ЕОМ п'ятого покоління під егідою науково-дослідницького центру з оброблення інформації (JIPDEC). У 1981 р. був опублікований попередній звіт, який містив детальний багатостадійний план розгортання науково-дослідних та конструкторських робіт задля створення до 1991 р. прототипу ЕОМ нового покоління [1, 2]. Цей проєкт став підґрунтям японської національної програми створення ЕОМ п'ятого покоління, яку світова наукова спільнота охарактеризувала як найбільш претензійну в галузі обчислювальної техніки за всю історію її розвитку. Програма справила досить сильне враження у Великій Британії, США, а згодом і в усьому світі. На неї покладали великі сподівання, і хоча протягом останніх 30 років зроблено дуже багато, однак сучасний штучний інтелект ще далекий від досконалості. Звичайно, пов'язано це з надзвичайною складністю досліджень і розуміння мозкової діяльності людини, однак роботи з удосконалення штучного інтелекту у світі не тільки не припиняються, а й інтенсифікуються. Сьогодні понад 50 провідних країн у світі мають затверджені національні стратегії розвитку штучного інтелекту, як важливого чинника науково-технічного, суспільного та економічного прогресу людства. Україна також не стоїть осторонь цього процесу — Кабінет Міністрів України затвердив Концепцію розвитку штучного інтелекту в Україні на 2022–2030 рр. [3]. Науковці університетів МОН України запропонували Стратегію розвитку штучного інтелекту на ті самі роки [4]. У Концепції та Стратегії детально висвітлено організаційні питання розвитку ШІ та його застосування в різних галузях діяльності. Це, звичайно, вкрай необхідно, але наступним кроком має бути концепція і стратегія створення кібернетичних систем зі штучним інтелектом. З огляду на важливість цього стратегічного напрямку для України, неприпустимо упустити цей шанс, бо повернути його вже буде неможливо. Для науковців становлять інтерес відповіді на такі запитання: які функції природного інтелекту доцільно закласти в штучний інтелект, які шляхи створення, етапи і методи доцільно закласти у вдосконалення штучного інтелекту тощо. Безумовно, над цими питаннями мають

працювати великі наукові колективи, але, враховуючи важливість проблеми створення штучного інтелекту, дуже хотілося б пришвидшити цей процес. Тому автор цієї роботи у межах попереднього обговорення висловлює свою парадигму створення штучного інтелекту.

НАПРЯМИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Можна виділити два великих напрями створення систем зі штучним інтелектом:

- на базі інженерії знань;
- шляхом навчання на великих базах даних.

Перший напрям ґрунтується на категоріях логіки і внесенні в комп'ютер усього можливого обсягу знань та їхніх описів, другий — на категоріях імовірностей для створення алгоритмів навчання для виділення знань на базі статистичного оброблення великих баз даних.

У галузі штучного інтелекту є п'ять основних наукових течій [5]:

- символісти розглядають штучний інтелект як процес, зворотний до дедукції, і черпають ідеї з філософії, психології та логіки;
- конекціоністи відтворюють роботу мозку шляхом зворотної інженерії та надихаються нейробіологією і фізикою;
- еволюціоністи симулюють еволюцію на комп'ютерах і звертаються до генетики й еволюційної біології;
- прихильники байєсівського підходу використовують імовірнісний висновок, а корені цієї школи ґрунтуються на статистиці;
- аналогісти працюють над екстраполяцією на базі подібності суджень і перебувають під впливом психології та математичної оптимізації.

Ці течії переплетені багатьма зв'язками та доповнюють одна одну, використовуючи напрацювання колег. Обидва напрями створення систем ШІ претендують врешті-решт на створення універсального штучного інтелекту, який буде працювати за людей. Однак це проблема далекого майбутнього (якщо вийде). А застереження від цього, на думку автора, є таким: якщо людині нічого не треба буде придумувати, а все зробить універсальний штучний інтелект, то це призведе до застою і вимирання людства. Кажуть, що штучний інтелект так швидко вдосконалюється, що скоро він буде обходитися без людей. Автор має надію, що до цього не дійде, бо у світі ще безліч невідкритого та цікавого.

Слід зазначити, що для створення штучного інтелекту шляхом навчання на великих базах даних потрібні дуже потужні суперкомп'ютери, яких бракує в Україні. У цьому напрямі мають змогу проводити дослідження багаті країни, як-от: США, Китай, Японія, Німеччина, Велика Британія тощо. Наприклад, Китай має понад 200 суперкомп'ютерів з переліку «Топ-500». Пріоритетним напрямом його державної політики є розроблення та впровадження систем з обов'язковим використанням глибокого навчання, на це виділяють дуже великі кошти. В одній з програм телебачення повідомляли, що навіть на книжковій полиці їхнього лідера бачили книжку «Верховный алгоритм: как машинное обучение изменит наш мир» [5]. Однак, під час неодноразових наукових відряджень до Китаю автор бачив проекти (особливо для систем контролю та керування в реальному часі з масивами відеокамер), заплановані до реалізації з використанням суперкомп'ютерів. Проте, на думку автора цієї роботи, їх можна створювати у значно простіший і дешевий спосіб. Україна не має жодного суперкомп'ютера з переліку «Топ-500», тому в найближчій перспективі на серйозні результати в цьому напрямі не варто й сподіватися. Однак, не розраховуючи на Верховний алгоритм, можна і треба, навіть на наявних комп'ютерах, проводити дослідження і розроблення на базі машинного і глибокого навчання, більш орієнтовані на класи задач. Це добре вписується в концепцію і стратегію створення штучного інтелекту, розглянуту нижче.

На найближчу перспективу (до 2030 р.) автор пропонує застосовувати більш приземлений підхід, який ґрунтується на вилученні і використанні знань (законо-

мірностей, онтологій, евристик, прийомів, методів тощо), здобутих з різних видів інформації природним інтелектом науковців різних спеціальностей або в результаті навчання нейронних мереж, на різних етапах створення і використання штучного інтелекту, що забезпечує інтелектуальний інтерфейс з людиною та навколишнім середовищем, аналіз і розуміння задачі, вибір стратегії, методів та засобів її розв'язання, аналіз результатів та синтез інтелектуальних повідомлень для споживача. Водночас для кожної складової штучного інтелекту доцільно використати більш ефективні саме для неї методи й алгоритми.

Створення ШІ передбачає поетапне розроблення і впровадження таких систем:

1. Система спілкування. Система з інтелектуальним інтерфейсом для узгодження з інтелектуальними можливостями людини (забезпечує введення–виведення текстової інформації, голосових повідомлень, жестів, зображень, їхнє розпізнавання, переклад на інші мови та синтез відповідей);

2. Система знань. Система, здатна виділяти і накопичувати семантичну інформацію (знання);

3. Система розуміння. Система, яка розуміє змістовну інформацію та забезпечує діалог з людиною (практичне використання знань);

4. Система з творчими здібностями. Система, яка має здатність до навчання, використання евристик, асоціативних конструкцій, формулювання висновків та прийняття рішень.

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВИМОГИ ДО СИСТЕМ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Функціональні вимоги до систем зі ШІ є такими:

1. Підвищення інтелектуального рівня системи та забезпечення простоти її застосування для користувачів різного профілю:

- можливість уведення графіків, документів, голосових повідомлень, зображень, відеопослідовностей, сцен, 3D-зображень об'єктів та виділення з них відповідних інформативних ознак (*Delta*-знань) тощо;

- можливість організації діалогу із системою з використанням спеціалізованої (відповідно до профілю користувача) або природної мови;

- можливість автоматичного виділення, накопичення та використання збережених знань у практичних цілях;

- можливість навчання, адаптації, розуміння асоціативних конструкцій, формулювання висновків, прийняття рішень.

2. Забезпечення розумної взаємодії користувача та системи:

- під час постановки задачі;

- під час представлення результатів розв'язання задачі.

3. Спрощення процесу створення програмних засобів:

- автоматизація розв'язання задач на базі описаних вихідних вимог;

- використання допоміжних засобів наочного програмування (інструментальних компонент, графічних/структурних елементів тощо);

- використання баз знань та наявних фондів алгоритмів і програм;

- використання методів машинного та глибокого навчання;

- використання евристичних методів;

- реалізація засобів верифікації у мовах програмування.

4. Удосконалення архітектури системи для покращення загальних характеристик та експлуатаційних якостей:

- покращення співвідношення витрат і вигоди;

- легкість інтеграції апаратних і програмних компонентів та компактність;

- достатня (наторочувана) продуктивність;

- різноманітність можливостей та пристосовність;

- підвищена надійність;

- розвинуті функції захищеності від кібератак.

5. Забезпечення можливості роботи в умовах реального часу:
- організація взаємодії користувача з об'єктом;
 - напівнатурне моделювання для відпрацювання взаємодії обладнання, алгоритмів, апаратних і програмних засобів;
 - керування складними високодинамічними процесами;
 - керування високошвидкісними й інтелектуальними об'єктами;
 - використання в кіберфізичних системах та в системах «Інтернет речей».

З урахуванням вимог до систем зі штучним інтелектом, автор пропонує узагальнену архітектуру кібернетичної системи для чотирьох етапів створення систем зі штучним інтелектом (рис. 1). Вона об'єднує:

- модульні засоби людино-машинного інтелекту, за допомогою яких здійснюють керування системою з використанням спеціалізованої (за профілем користувача) або природної мови, введення даних як з носіїв, так і з давачів інформації від технологічних процесів, роботів тощо та зовнішнього світу для інтелектуального оброблення інформації та отримання результатів її оброблення у зручній для людини формі або сигналів керування процесами та об'єктами;

- підсистему роботи зі знаннями, яка забезпечує автоматичне виділення інформативних ознак і закономірностей, накопичення знань, їхню адаптацію у процесі навчання та використання для розуміння поставленої задачі, вибору стратегії її розв'язання й організації діалогу з людиною у зручній для неї формі;

- інтелектуальну підсистему програмування, що забезпечує структурування задачі за рівнями, розпаралелювання та оптимізацію, вибір методу розв'язання й апаратних ресурсів, синтез програм, а також ієрархічне управління процесами розв'язання та обміну інформацією між рівнями задачі;

- підсистему розв'язання прикладних задач, яке здійснюють за допомогою спеціалізованих або проблемно-орієнтованих процесорів. Система роботи зі знаннями аналізує розв'язки на відповідність достовірності, точності та правовим і морально-етичним правилам та нормам (за потреби здійснюють коригування задач); розв'язки синтезують у потрібну форму і передають користувачу або на виконавчі механізми робота чи об'єкта досліджень або керування.

Отже, кібернетична система зі штучним інтелектом може забезпечувати розв'язання користувацьких задач різного профілю та напівнатурне моделювання систем керування різними процесами й об'єктами для їхнього відлагодження або дослідження.

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ АРХІТЕКТУРИ КІБЕРНЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Через велику розбіжність форм подання керувальної інформації, даних, методів і алгоритмів виділення інформативних ознак, типів задач, стратегій їхнього розв'язання, методів, вимог до часу розв'язання, точності, надійності тощо навряд чи доцільно об'єднувати всі ці інтелектуальні технології в одній кібернетичній системі. Винятком може бути ситуація, коли створюють потужний інтелектуальний центр спільного користування з можливістю мережевого доступу до ресурсів зазначеної системи або будують багаторівневу систему з різними видами інформації. У всіх інших випадках більш доцільно забезпечити можливість створення спеціалізованих або проблемно-орієнтованих систем відповідно до вимог конкретного користувача. Як свідчить досвід, спеціалізовані системи мають на три порядки кращі показники ефективності (відношення продуктивності до вартості), а проблемно-орієнтовані системи на один-два порядки є ефективнішими порівняно з універсальними. За рахунок спеціалізації такі системи будуть значно простішими, їхнє розроблення та впровадження здійснюватиметься швидше, вони матимуть наочні засоби програмування, відповідні бази знань цього напрямку, методи розв'язання задач та відображення результатів. Це дасть змогу значно розпаралелити і спростити процес розроблення таких засобів, швидше налагодити їхнє виробництво, оперативно відслідковувати потреби і модернізацію кожного типу засобів та прискорити впровадження штучного інтелекту в різні галузі господарства. У разі потреби, за рахунок узгоджених апаратних і програмних інтерфейсів, такі спеціалізовані системи можна буде об'єднувати у проблемно-орієнтовані системи, розширюючи їхні функціональні можливості.

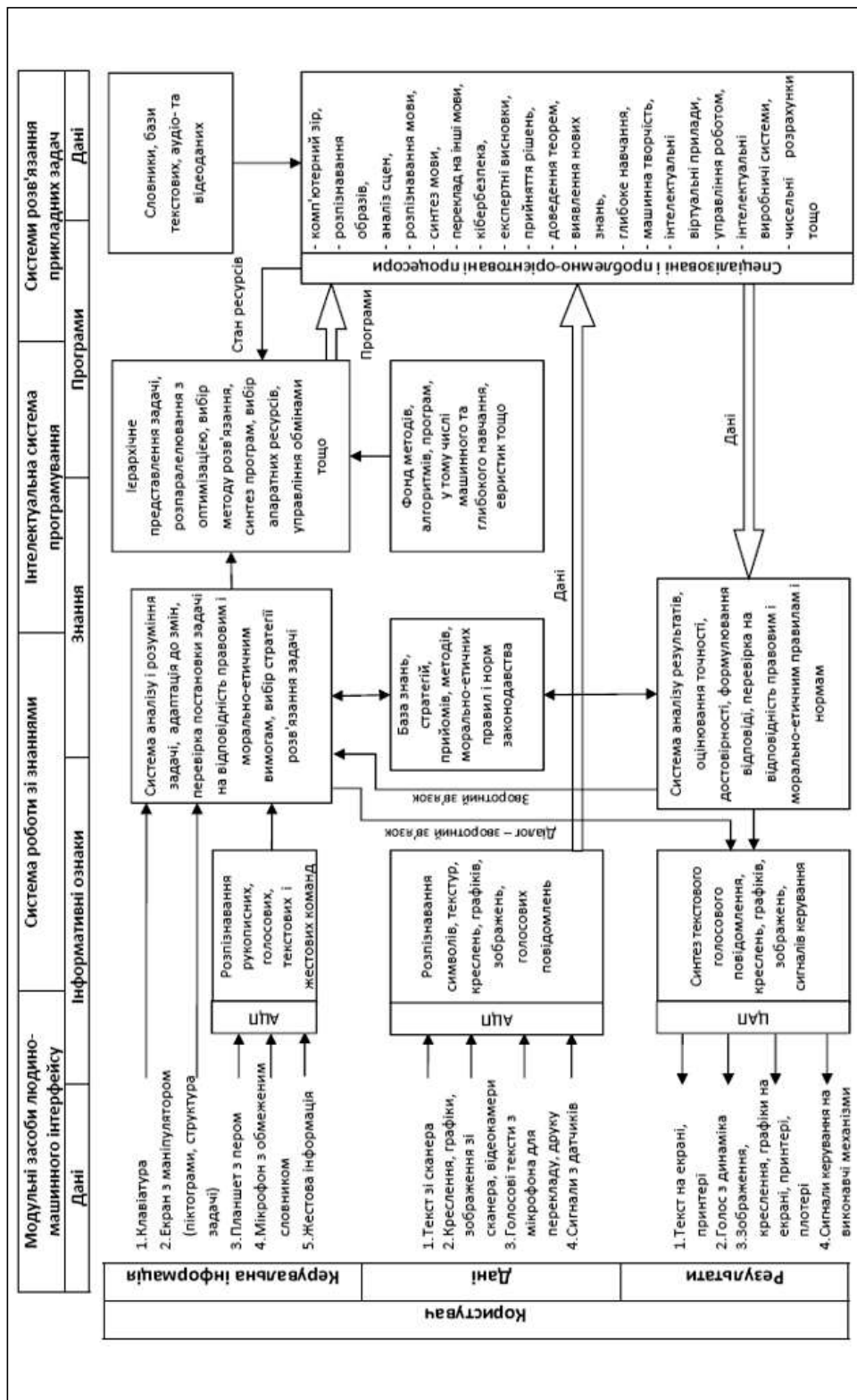


Рис. 1. Узагальнена архітектура кібернетичної системи зі штучним інтелектом

Особливу увагу доцільно звернути на розроблення засобів штучного інтелекту для систем реального часу, які повинні забезпечити насичення промисловості новітніми цифровими системами керування складними і високодинамічними процесами й об'єктами, роботизацію підприємств тощо.

Основними принципами для широкого розпаралелювання, спрощення, прискорення та впровадження розробок можуть бути:

1. Модульність — організація всіх складових (апаратних і програмних) у вигляді окремих модулів з уніфікованим інтерфейсом.

2. Спеціалізація та орієнтація модулів на виконання конкретних функцій.

3. Можливість інтеграції модулів у довільні проблемно-орієнтовані архітектури.

4. Ієрархічне управління у складних багаторівневих системах автоматизації виробничих процесів, системах керування військовими об'єктами, роботизованих системах зі штучним інтелектом.

5. Здатність до навчання та адаптація до умов функціонування на всіх рівнях ієрархії.

ПІДХОДИ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ КІБЕРНЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ ТА ЇЇ СКЛАДОВИХ

Можна виділити три підходи до проблеми створення штучного інтелекту. Перший полягає в дослідженні структури й організації роботи мозку людини з його інтелектуальними каналами взаємодії з навколишнім середовищем, тобто в розкритті таємниць процесу мислення. Водночас можна використовувати вже відомі знання щодо принципів організації мозку та його інтелектуальних каналів або на базі психофізіологічних досліджень розробляти моделі, проводити моделювання, висувати нові гіпотези та вдосконалювати моделі.

Другий підхід передбачає моделювання інтелектуальної діяльності засобами обчислювальної техніки заради отримання алгоритмічного і програмного забезпечення для використання в системах зі штучним інтелектом.

Третій підхід орієнтований на створення людино-машинних інтелектуальних систем на основі симбіозу можливостей природного і штучного інтелекту. За цих обставин важливим є оптимальний розподіл функцій між природним і штучним інтелектом та організація взаємодії між людиною, машиною та навколишнім середовищем.

Оскільки штучний інтелект повинен взаємодіяти в реальному часі з користувачем і навколишнім середовищем (яке більшою мірою є неперервним), доцільно звернути увагу на визначення поняття інформації з кібернетичного погляду, надане В.М. Глушковым під час формування напрямів наукових досліджень Інституту кібернетики: «Информация в самом общем ее понимании представляет собой ... меру изменений, которыми сопровождаются все протекающие в мире процессы» [6]. Під змінами (приростами, або різницями) у визначенні В.М. Глушкова розуміють будь-які процеси, явища тощо, які вивчають науковці-кібернетики. Це поняття виявилось дуже корисним й ефективним для найрізноманітніших застосувань. Зокрема, використання для систем реального часу слідувальної моделі аналого-інкрементного перетворення неперервних сигналів замість вимірювальної моделі аналого-цифрового перетворення, а також узгодження форм представлення інформації із засобами оброблення забезпечує значне зменшення надлишковості та спрощує її оброблення [7].

Зазначені підходи використовують для спрощення реалізації алгоритмів обчислення операцій масштабування, степенювання, обчислення поліномів, реалізації різних функціональних залежностей (експоненціальної, логарифмічної, тригонометричних, гіперболічних тощо). Без операції множення реалізуються алгоритми обчислення кореляційних функцій, коефіцієнтів дискретного перетворення Фур'є, цифрової фільтрації, алгоритми розв'язання лінійних алгебраїчних рівнянь ітераційними методами (з використанням приростів нев'я-

зок та кодуванням приростів невідомих величинами, кратними степеню двійки), диференціальних рівнянь з частинними похідними методом цифрових сіток, інтегральних рівнянь тощо [7]. Це дає змогу замінити на кожній ітерації або кожному кроці масові операції множення і додавання на операції зсуву, які суміщаються у часі з операціями додавання.

На основі приростів сигналів уведено поняття δ -ентропії, що через середнє значення модуля похідної процесу характеризує його динамічність. Це поняття можна використати для оцінювання інформативності сигналу, зображення або відеопослідовності, пошуку в зображенні високодинамічних ділянок (тексту, текстури, DMX-кодів, номерів автомобіля, відбитків пальців) та багато чого іншого [8].

Автор понад 20 років проводить дослідження у галузі систем комп'ютерного зору і понад 10 років — з використанням елементів зорового аналізатора людини. Це дало змогу зрозуміти, наскільки винахідливо і розумно організована сітківка ока людини та її взаємодія з вищими шарами мозку [9]. Природа у процесі еволюції шляхом проб і помилок створила надзвичайно потужну інтелектуальну систему (наш мозок) з кількома, також інтелектуальними, каналами взаємодії з навколишнім середовищем.

Хоча автор і не заперечує ефективність і доцільність застосування методу глибокого навчання, він, як винахідник з 50-річним досвідом, віддає перевагу більш ґрунтовному дослідженню будови, організації та функціонування мозку людини та його інтелектуальних каналів взаємодії з навколишнім середовищем. Певна річ, у цій складній організації великого значення набуває і процес навчання. Однак, на думку автора, навчання в мозку реалізується у дещо інший спосіб, тобто шляхом більш вибіркового пошуку розв'язання складних задач з використанням принципів адаптації до зміни умов функціонування та вимог, а також організації ієрархічного навчання. Як приклад адаптації нейронних мереж до зміни умов функціонування та вимог можна навести еволюційні нейронні мережі, в яких забезпечується можливість зміни структури мережі та її параметрів під час навчання без зовнішнього втручання. Це сприяє їхньому пристосуванню для роботи в нестаціонарних умовах і за наявності невизначеності щодо властивостей досліджуваного об'єкта [10–12]. Спростити реалізацію таких мереж можна шляхом заміни масових операцій множення на операції зсуву завдяки використанню приростів інформації, кратних степеню двійки [13, 14].

Застосування інтелектуальних відеокамер з можливостями адаптації до змін освітлення та контрасту в умовах нестаціонарного середовища дасть змогу спростити навчання штучної нейромережі та підвищити якість розпізнавання об'єктів. У свою чергу, керування параметрами зчитування інформації в інтелектуальних відеокамерах, за рахунок використання грубого представлення зображень під час пошуку об'єктів у сцені уваги та у разі відстеження об'єктів у відео, забезпечує значне зменшення обсягів інформації для її оброблення, а також розширює динамічний діапазон процесів [14].

Симбіоз наукових досліджень та винахідницької творчості дає змогу у більш раціональний спосіб досягти поставленої мети. Ці питання ефективно вивчає наука евристика (висходить ще до Сократа), яка досліджує продуктивне творче мислення, організовує вибіркового пошук під час розв'язання складних інтелектуальних задач, її методи використовуються у відкритті нового і в навчанні. Евристика дає змогу побудувати логічний ланцюжок і у правильній послідовності «усвідомити» суть речей [15].

Евристичний пошук спрямований на покращення пошуку шляхом ітеративної систематизації залежно від заданої евристичної здатності до пошуку або від показника вартості. Цей метод, як правило, не гарантує знаходження ідеальної або найкращої систематизації, однак дає змогу скоріше знайти цілком задовільну або відповідну систематизацію в розумних межах часу та пам'яті. Це свого роду альтернативний маршрут, оскільки доводиться регулярно обмінювати оптимальність, накопичення, точність або правильність на швидкість. У цьому напрямі напрацю-

вано дуже багато ефективних методів (пошук у ширину, глибину, просте сходження на вершину, найкрутіше сходження, стохастичне сходження на вершину тощо), які доцільно використовувати у штучному інтелекті [16, 17].

У науковій творчості є елементи, які мають характер закономірностей (евристик). Їхнє виявлення дає змогу підвищити ефективність творчого процесу. На відміну від традиційного представлення накопиченого досвіду, в інформаційних та інформаційно-пошукових системах пропонують використовувати так званий метод приростів знань (*Delta*-знань). Він ґрунтується на побудові еволюційних ланцюжків розвитку визначеного напрямку технічних рішень, перенесенні *Delta*-знань на логічно подібні у функціональному плані об'єкти як всередині ланцюжка, так і між ними, виявленні узагальненої тенденції якісного вдосконалення об'єкта та екстраполяції цих тенденцій у напрямку продовження логіки вдосконалення об'єкта, яка реально склалася, а також перенесенні її на інші функціонально подібні об'єкти [14].

Евристики, знайдені природним інтелектом, доцільно закладати у фонд методів для інтелектуалізації системи програмування. Отже, симбіоз традиційних методів наукових досліджень й евристичних методів, які сприяють обмеженому пошуку в умовах великої кількості варіантів, надалі може слугувати базою для розвитку творчих здібностей у штучного інтелекту.

Оскільки за межами невідомого у штучному інтелекті ще ховаються необмежені горизонти нових знань, тому без нових блискучих евристик не можна розраховувати на суттєві досягнення у пізнанні його таємниць [16, 17].

За допомогою онтологій, які формально описують знання, можна побудувати знання-орієнтовані інформаційні системи з онтолого-керованою архітектурою, що реалізують технологію добування предметно-орієнтованих знань із множини природномовних текстів [18].

Для багатокомпонентної оптимізації ефективними можуть бути методи планування експерименту, основною метою яких є мінімізація кількості випробувань для складних експериментів із забезпеченням необхідної точності отриманих результатів. Використовують такі методи, як повний факторний експеримент, дробові репліки, круте сходження по поверхні відгуку, опис майже стаціонарної області, відсівальні експерименти, адаптаційна оптимізація виробничих процесів [19, 20].

Далі розглянемо більш детально принципи організації деяких інтелектуальних каналів сприйняття інформації людиною та принципи організації керування процесом сприйняття інформації [13, 21].

ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ СІТКІВКИ ОКА ЛЮДИНИ, ЯКІ ДОЦІЛЬНО ВИКОРИСТОВУВАТИ У ВІДЕОСИСТЕМАХ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Відомо, що сітківка ока людини працює не зі значеннями яскравості або колірності, а з інформативними ознаками контрасту між сусідніми елементами зображення, яке сприймається рецепторами. Останнім часом активно розвивається напрямок використання камер подій з датчиками динамічного зору, асинхронними піксельними датчиками тощо, створеними (як зазначено в багатьох дослідженнях) з урахуванням біологічних принципів [22, 23]. Вони відрізняються від звичайних рамок камер тим, що асинхронно вимірюють зміни яскравості в пікселях і виводять потік подій, в якому кодується час, місцезнаходження та знак зміни яскравості. «У датчиках подій, як і в зоровому аналізаторі людини, зчитуються тільки ті пікселі, що зазнали змін яскравості вище вибраного порогу, і тільки ця інформація надходить у мозок для оброблення» [22, 23]. Хоча новий напрям систем комп'ютерного зору (СКЗ) на базі камер подій і претендує на використання принципів побудови, аналогічних зоровому аналізатору людини, проте такі системи реалізують лише незначну частину цих принципів. Це, зокрема, принципи, що стосуються сенсорної частини сітківки ока людини та зорової кори, але не враховують багатопланову нейромережу сітківки. Насправді мозок не може впоратися з

такими обсягами інформації, що надходить від рецепторів сітківки. Функції стиснення відеопотоків інформації на багато порядків виконує сітківка ока людини, яка складається з 100 млрд нейронів багатьох типів з 100 трлн зв'язків між ними. Тому навряд чи можна погодитись з тим, що датчики динамічного зору повною мірою враховують біологічні принципи побудови сітківки ока людини.

Попри всю складність організації сітківки ока людини, нейроанатоми виявили основні структурні особливості її побудови, а нейрофізіологи визначили її загальні функції. Периферична сітківка ока, крім шару рецепторів (здебільшого паличок), має чотири шари нейронів з різними функціями, ступенем розгалуження дендритів та аксонів, причому функції багатьох з них ще незрозумілі. Вона виконує функції сприйняття відеоінформації паличками і колбочками, виділення із зображення інформативних ознак та передачі інформації в латеральне колінчасте тіло й інші шари мозку. Для того щоб описати в деталях процес сприйняття інформації, на теперішній час недостатньо знань; крім того, враховуючи складність організації сітківки і мозку, навряд чи це буде можливо в досяжному майбутньому. Однак концентричну організацію рецептивних полів за принципом «центр-оточення», відкриту Куффлером, яка утворюється на біполярних сітківки з допомогою горизонтальних клітин і ґрунтується на використанні двох зон: центральної зони збудження і кільцевої навколо неї зони гальмування, підтверджують усі дослідники і не мають сумнівів щодо неї. На цій основі створюються оп-і off-центри, які забезпечують виділення перепадів яскравості між більш світлими зонами сітківки на темному фоні (оп-центр) і навпаки (off-центр). Вони є надзвичайно потужним і корисним інструментом для виділення інформативних ознак із зображення, хоча застосування принципу концентричної організації не завжди є коректним [9, 21, 24].

Слід зазначити, що принцип концентричної організації широко використовують у системах комп'ютерного зору для виділення найрізноманітніших інформативних ознак. Зокрема працювано багато різних масок для виділення меж об'єктів, контурів, орієнтації, кутів, фільтрації від різних типів завад тощо [9].

Для забезпечення стабільного упізнавання образів коркові нейрони мозку повинні отримувати інформативні ознаки з сітківки інваріантно, тобто незалежно від змін таких важливих, але не вирішальних у просторовому аналізі властивостей зображення, як рівень світлового фону, контраст об'єкта з фоном, протяжність його дії у часі. Організація рецептивних полів за концентричним принципом «центр-оточення» сприяє зменшенню впливу змін освітлення, якщо це стосується і центра, і оточення. Тому вони більш ефективні для визначення точкової інформації про межі об'єктів різної освітленості в зображенні.

Судячи з досліджень структури, організації та функціонування мозку, які здійснили нейрофізіологи та нейропсихологи, видно, що інформація з сітківки ока людини через латеральне колінчасте тіло (ЛКТ) надходить у різні зони зорової кори та інші, вищі за ієрархією, ділянки мозку, котрі організовані за ретинотопічним принципом (тобто, з прив'язкою до місцеположення на сітківці) і виділяють свої, специфічні для них, ознаки та підвищують рівень абстрактності інформації. При переході від клітин сітківки до клітин зорової кори ускладнюються не тільки анатомічні особливості самих клітин, але й сигнали, що необхідні для їхнього збудження. У роботах [24, 25], на відміну від рецептивних полів гангліозних клітин сітківки і клітин ЛКТ з концентричною організацією, виділено рецептивні поля зорової кори, що організовані за лінійчатим принципом, для яких ефективними стимулами є лінії, смуги та прямокутні сегменти з різними розмірами та чіткими краями. Зокрема, виділено кортикальні клітини різних типів:

— прості клітини, які реагують на видовжені прямолінійні сегменти — стимули, що знаходяться у визначеному місці та мають визначену орієнтацію;

— складні клітини, які мають більші за розміром рецептивні поля та реагують на визначену орієнтацію стимулу в будь-якому місці рецептивного поля; крім того, вони реагують на рух стимулу у визначеному напрямку в межах їхнього рецептивного поля;

— гіперскладні клітини, які реагують на сукупність таких ознак, як визначена орієнтація і довжина стимулу та переміщення її у визначеному напрямку тощо.

Інакше кажучи, при переході на вищі рівні мозку клітини зорової кори мають різноманітні і складні рецептивні поля, які стають більш вибірковими, реагують на більш абстрактний візуальний образ та організовані за ієрархічним принципом. За такими самими принципами функціонують інші інтелектуальні канали сприйняття слухової, тактильної, вестибулярної тощо інформації.

У результаті аналізу кортикального гомункулусу (відображення сенсорної і моторної частин тіла в корі головного мозку) можна побачити, що обсяг кори, яка відповідає кожній ділянці тіла, не відповідає їхнім фізичним розмірам. Найбільш відповідальним, важливим та інформативним для забезпечення життєдіяльності людини функціям (кисть руки, обличчя) відведено значно більше ресурсів (сенсорів, нейронів тощо), сенсори стають більш чутливими (центральна ямка сітківки для детального аналізу візуальної інформації, кінчики пальців для сприйняття тактильної інформації тощо). Відповідно інші ділянки отримують меншу кількість ресурсів (менша кількість сенсорів та нейронів тощо).

Отже, маємо вузьку спеціалізацію ділянок мозку відповідно до функцій інтелектуальних каналів, десятки вузькоспеціалізованих ділянок мозку для їхньої реалізації, які організовані за ієрархічним принципом. Відбувається й тісна взаємодія між цими каналами.

Крім певної реалізації характерних для людини засобів сприйняття інформації (візуальної, слухової, тактильної, запахів тощо), у СКЗ доцільно також використовувати засоби, створені природним інтелектом людини для отримання додаткової інформації в різних діапазонах електромагнітного спектра (інфрачервоному, ультразвуковому тощо), магнітометри, GPS-навігатори, голографічний зір та багато іншого, щоб створювати для різних галузей більш досконалі СКЗ, які під час функціонування самі вироблятимуть цілеспрямовану поведінку робота, ефективне керування складним технологічним процесом тощо.

У кібернетичній системі зі штучним інтелектом доцільно мати інструментальні програмні системи з когнітивними функціями, професійно орієнтованими на спрощене наочне програмування задач, наприклад у вигляді структурних схем з типових блоків, якими користуються спеціалісти з систем автоматичного керування, або у вигляді графів алгоритму, для відлагодження програм, їхньої верифікації, проведення напівнатурних експериментів тощо.

Для розв'язання складних проблем і задач часто потрібні знання і методи багатьох спеціалістів у різних галузях. Тому доцільно використовувати відомі підходи системного аналізу, зокрема розбиття проблеми на підпроблеми, які можуть мати більш прості розв'язки і потім об'єднуються для розв'язання основної проблеми. Розбиття на частини дає змогу структурувати проблему та застосувати математичні, технічні, програмні й інші засоби для отримання прийнятних результатів.

Центральною проблемою для штучного інтелекту є проблема розуміння образів зовнішнього світу, розпізнавання, виділення і подання сенсу отримуваної інформації. Оскільки будь-яка інформація має сенс лише у зв'язку з конкретною діяльністю, то розуміння — це структурування інформації відповідно до її використання. Отже, важливим моментом для штучного інтелекту є перетворення проблеми, здебільшого слабо структурованої, у структуровану. Розв'язання проблеми слід здійснювати на різних рівнях, як із смисловою інформацією, так і з математичною, та з організацією роботи різних спеціалістів. Це також стосується і вибору цілей, і вибору критеріїв оцінювання якості результатів.

Людина, як біологічна система, здатна розв'язувати дуже складні задачі з перероблення інформації та керування. Водночас вона використовує власні, досить ефективні принципи і засоби, які склалися в результаті багатовікової еволюції. Якщо розглянути наше тіло як механічну систему, то навіть ця, дуже спрощена система має понад двісті ступенів свободи. Однак людина успішно справляється із задачею керування рухами цієї системи, виконуючи безліч складних дій. Коротко розглянемо деякі загальні принципи керування, які діють у біологічних системах. З'ясування цих питань важливе для побудови більш досконалих систем керування складними процесами, мобільними об'єктами, інтелектуальними роботами тощо.

Один з ефективних способів керування біологічною системою полягає в ієрархічності, тобто розподіленні задачі між рівнями системи. Наприклад, для виконання якогось руху потрібна узгоджена дія декількох м'язів, кожен з яких, своєю чергою, складається із сукупності окремих волокон, пов'язаних з мотонейронами, котрі ними керують. Вищий рівень нервової системи, пов'язаний з великими півкулями мозку, ставить лише загальну задачу на виконання руху. Він не контролює дії окремих рухових волокон, які виконують поставлену задачу. Деталізація побудови рухів у людини здійснюється на більш низьких рівнях, пов'язаних з різними відділами спинного мозку. Важливою властивістю багаторівневих систем, потрібною для цілеспрямованої поведінки, є визначений обмін інформацією, яка зберігається в пам'яті і структурі нижніх рівнів, між різними рівнями системи. Такий ієрархічний підхід до керування багаторівневими системами є набагато економнішим порівняно з централізованим. Під час побудови рухів ступені свободи тіла розкладаються на узгоджені керовані ланки, що значно зменшує число незалежних ступенів свободи для керування. Деякі з цих ланок в організмі людини жорстко генетично зафіксовані, інші були вироблені у процесі навчання. Під час складних рухів відбувається послідовне використання різних ланок, що забезпечує цілеспрямований рух [9, 25].

Такі спеціалізовані ланки можуть формуватися у процесі еволюції або під час навчання не тільки для побудови рухів, але і для сприйняття та перероблення інформації в сітківці ока або у слуховому апараті людини за допомогою рецепторів, фільтрів, детекторів тощо, що забезпечують виділення з усього різноманіття сигналів тільки визначеної послідовності інформативних ознак для розв'язання поставленої задачі. Для кожного інтелектуального інформаційного каналу сприйняття інформації зовнішнього світу побудовані свої спеціалізовані та ієрархічно організовані ланцюжки оброблення інформації у вищих шарах мозку.

За словами фізіолога І.М. Сеченова «...все бесконечное многообразие внешних проявлений мозговой деятельности сводится окончательно к одному лишь явлению — мышечному движению» [26]. І це дійсно так. Зокрема, навіть зоровий аналізатор людини, сприймаючи через висхідний канал інформацію з сітківки ока, не має каналів безпосереднього впливу на сітківку, яка жорстко генетично організована. Однак, мозок має велику кількість можливостей налаштування ока для цілеспрямованого сприйняття інформації через низхідний канал за рахунок різних рухів ока: керування отвором зіниці (для пристосування до освітленості сцени), керування формою кришталика (для фокусування погляду на необхідному об'єкті у сцені), повертання очей вправо/вліво або вгору/вниз, вестибуло-окулярні рухи очей (для фіксації погляду на предметі під час повороту голови), вергентні рухи (для координації руху обох очей у випадку бінокулярного зору). Є також декілька рухів очей, які дають змогу ефективно сприймати інформацію в різних режимах: саккади, або різкі рухи очей, що переводять погляд з одного об'єкта на інший; слідувальні рухи очей, які виникають тоді,

коли об'єкт рухається на нерухомому фоні (вони більш повільні, тому стимулом у цьому випадку є не сам об'єкт, а його місцеположення, напрямок руху та швидкість переміщення). Водночас, завдяки синхронізації процесів руху очей і об'єкта, забезпечується відносно стабільне положення об'єкта на сітківці і більш чітке його сприйняття. Також є тремороподібні мікрорухи очей, які виникають у разі погляду, свідомо зафіксованому спостерігачем на якомусь предметі, оскільки зображення на сітківці без таких рухів поступово зникає, тощо. Розрізняють також рефлекторні рухи очей, які здійснюються без участі мозку, якщо виникає небезпека для самих очей або для людини (наприклад, якийсь предмет летить у бік ока чи голови). Отже, бачимо надзвичайно складну багаторівневу систему рухів, якими мозок повинен керувати, а також упорядковану послідовність рухів, яка реалізується відповідно до поставленої мозком задачі. Деталізація керування волокнами м'язів здійснюється на нижніх шарах ієрархії завдяки досвіду, набутому під час розвитку дитини [9, 26, 27]. Подібні механізми можна знайти і в інших рецептивних системах людини. Це яскравий приклад синергії компонент різної природи, які адаптивно взаємодіють із зовнішнім середовищем і функціонують як єдиний організм.

Досить важливим принципом організації керування у складних біологічних системах є здатність навчатися на досвіді й адаптуватися до заздалегідь невідомих умов функціонування, що можуть змінюватись в широкому діапазоні. Набутий досвід дає змогу в аналогічних ситуаціях не починати розв'язувати задачу заново, а тільки підкоригувати розв'язання до нових умов або вимог. Ця здатність до навчання й адаптації характерна не тільки для цілісного організму, але і для окремих його органів та функцій, що й забезпечує ефективну поведінку живих організмів.

У разі технічної реалізації систем керування складними багаторівневими процесами та об'єктами з великими обсягами сприйнятої інформації та високою складністю її оброблення, як і в біологічних системах, ефективним шляхом є розподіл функцій та розпаралелювання алгоритмів оброблення й керування між окремими рівнями ієрархії та підсистемами, тобто створення систем, що функціонують автономно з можливостями їхнього навчання та адаптації в умовах невизначеності. Під час роботи системи керування здійснюється накопичення досвіду та пристосування її до конкретних умов функціонування шляхом коригування параметрів або структури окремих підсистем, щоб досягти мети керування у невідомих умовах функціонування [28–30].

ВИСНОВКИ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ

У статті висвітлено деякі питання концепції і стратегії створення кібернетичних систем зі штучним інтелектом для України на найближчу перспективу (до 2030 р.). У цьому контексті штучний інтелект ґрунтується на вилученні і використанні знань (закономірностей, онтологій, евристик, прийомів, методів тощо), здобутих з різних видів інформації природним інтелектом науковців різних спеціальностей або в результаті навчання нейронних мереж, на різних етапах створення і використання штучного інтелекту, що забезпечує інтелектуальний інтерфейс з людиною та навколишнім середовищем, аналіз і розуміння задачі, вибір стратегії, методів та засобів розв'язання задачі, аналіз результатів і синтез інтелектуальних повідомлень для споживача.

Визначено етапи створення кібернетичних систем зі штучним інтелектом, функціональні вимоги до них, принципи організації архітектури цих систем. Для кожної зазначеної складової штучного інтелекту запропоновано використати більш ефективні для неї методи і алгоритми з п'яти основних наукових течій штучного інтелекту [5], оскільки вони з різних сторін досліджують та описують природний інтелект людини. Йдеться, зокрема про використання

евристик, еволюційного підходу, методів планування експериментів, приростів знань, онтологій для опису і виділення знань з текстів, системного аналізу для структуризації проблеми, принципів кільцевої та лінійчатої організації рецептивних полів нейронів, типових режимів функціонування зорового аналізатора людини, принципів ієрархічного управління в інтелектуальних каналах сприйняття інформації й оброблення в мозку та їхньої взаємодії, здатності до навчання на досвіді та адаптації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ЭВМ пятого поколения. Концепция, проблемы, перспективы. М.: Финансы и статистика, 1984. 108 с.
2. Симонс Дж. ЭВМ пятого поколения: компьютеры 90-х годов. М.: Финансы и статистика, 1985. 173 с.
3. Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні: Розпорядження КМ України від 02.12.2020 №1556-р. Київ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text>.
4. Шевченко А.І. та ін. Щодо стратегії розвитку штучного інтелекту в Україні на 2022–2030 рр. *Artificial Intelligence*. 2022. № 1. С. 75–157.
5. Домингос П. Верховный алгоритм: как машинное обучение изменит наш мир. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. 336 с.
6. Глушков В.М. Мышление и кибернетика. *Вопросы философии*. 1963. №1. С. 36–48.
7. Боюн В.П. Динамическая теория информации. Основы и приложения. Киев: Изд-во ИК НАНУ, 2001. 326 с.
8. Boyun V.P. Bioinspired approaches to the selection and processing of video information. *Proc. IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)* (21-25 August 2018, Lviv, Ukraine). Lviv, 2018. P. 498–502. <https://doi.org/10.1109/DSMP.2018.8478541>.
9. Boyun V.P. The issues regarding the organization of the human retina: a cybernetic approach. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2023. Vol. 59, N 1. P. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00537-7>.
10. Анисимов А.В., Марченко А.А., Землянский В.Р. Эволюционный метод построения систем искусственного интеллекта. *Кибернетика и системный анализ*. 2019. Т. 55, № 1. С. 3–13.
11. Безсонов О.О. Еволюційні штучні нейронні мережі прямого розповсюдження: архітектури, навчання, застосування: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Харків, 2017. 40 с.
12. Lytvynenko V., Wójcik W., Fefelov A., Lurie I., Savina N., Voronenko M., Boskin O., Smailova S. Hybrid methods of GMDH-neural networks synthesis and training for solving problems of time series forecasting. In: *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Lytvynenko V., Babichev S., Wójcik W., Vynokurova O., Vyshemyskaya S., Radetskaya S. (Eds). Cham: Springer, 2020. Vol. 1020. P. 513-531.
13. Boyun V. The principles of organizing the search for an object in an image, tracking an object and the selection of informative features based on the visual perception of a person. In: *Data Stream Mining & Processing. DSMP 2020. Communications in Computer and Information Science*. Babichev S., Peleshko D., Vynokurova O. (Eds). Cham: Springer, 2020. Vol. 1158. P. 1–23. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-61656-4_2.
14. Boyun V.P., Voznenko L.O., Malkush I.F. Principles of organization of the human eye retina and their use in computer vision systems. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2019. Vol. 55, N 5. P. 701–713. <https://doi.org/10.1007/s10559-019-00181-0>.
15. 7. Научное творчество и эвристика. 7.1. Понятие эвристики кратко. URL: <https://intellect.icu/nauchnoe-tvorchestvo-i-evristika-7-1-ponyatie-evristiki-8993>.
16. Теслер Г.С. Новая кибернетика. Киев: Логос, 2004. 404 с.

17. Васильев В.И., Шевченко А.И. Искусственный интеллект: проблема обучения опознаванию образов. В кн. «Проблема трёх О». Донецк: ИПИИ, 1997. 280 с.
18. Палагин А.В., Крытый С.Л., Петренко Н.Г. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний. Луганск: Изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2012. 324 с.
19. Налимов В.В., Чернова Н.Л. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Физматгиз, 1965. 340 с.
20. Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента. М.: Металлургия, 1976. 128 с.
21. Lauinger N. The Human Eye: an Intelligent Optical Sensor (The Inverted Retina: a Diffractive-optical Correlator). Barcelona: International Frequency Sensor Association (IFSA) Publishing, S. L., 2014. 410 p. URL: http://www.sensorsportal.com/HTML/BOOK-STORE/ Human_Eye.htm.
22. Posch C., Serrano-Gotarredona T., Linares-Barranco B., Delbruck T. Retinomorph event-based vision sensors: Bioinspired cameras with spiking output. *Proc. IEEE*. 2014. Vol. 102, N 10. P. 1470–1484.
23. Insightness Event-based Sensor Modules. URL: <http://www.insightness.com/technology/>.
24. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. М.: Мир, 1990. 239 с.
25. Николлс Дж.Г., Мартин А.Р., Валлас Б.Дж., Фукс П.А. От нейрона к мозгу. М.: Едиториал УРСС, 2003. 672 с.
26. Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга. М.: Изд-во АМН СССР, 1952. 211 с.
27. Werblin F., Roska B. The Movies in Our Eyes. *Scientific American*. 2007. Vol. 296, N 4. P. 72–79.
28. Boucher Ph. Artificial intelligence: How does it work, why does it matter, and what can we do about it? URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641547/EPRS_STU\(2020\)641547_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641547/EPRS_STU(2020)641547_EN.pdf).
29. Boyun V. Directions of development of intelligent real time video systems. *Proc. 2016 IEEE International Conference Radio Electronics and Info Communications (UkrMiCo)* (11-16 September 2016, Kyiv, Ukraine). Kyiv, 2016. <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo.2016.7739640>.
30. James A.P. The why, what and how of artificial general intelligence chip development. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*. 2021. Vol. 14, Iss. 2. P. 333–347.

V.P. Boyun

ON THE CONCEPT AND STRATEGY OF CREATING CYBERNETIC SYSTEMS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract. The stages of creating systems with artificial intelligence, functional requirements for them, principles of organizing the architecture of cybernetic systems with artificial intelligence, and approaches to the implementation of the components of such a system are considered, in particular the use: of heuristics, of evolutionary approach, of the methods of planning experiments, of increments in knowledge, of ontologies for describing and excretion of knowledge from texts, of system analysis for structuring problem, of principles of ring and linear organization of receptive fields of neurons, of typical modes of functioning of the human visual analyzer, of principles of hierarchical management in intellectual channels of perception of information and processing in the brain and their interaction, ability to learn by experience and adaptation.

Keywords: artificial intelligence, cybernetic system, measure of change, dynamic information, heuristics, knowledge gains, evolutionary approaches, ontologies, circular organization of neurons, hierarchical management, ability to learn and adapt.

Надійшла до редакції 20.04.2023