

# ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.032.26, 004.8, 621.865.8, 004.383.8.32.26, 615.478

Л.Рибак, канд. техн. наук

Хмельницький державний університет

## ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМУ, ПЛАНУ ТА ГІПОТЕЗ СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ НАНОРОБОТІВ ДЛЯ МЕДИЧНИХ ЦІЛЕЙ

*Приводиться розробка обґрунтованого визначення напрямку, плану і гіпотез створення системи штучного інтелекту для нанороботів, що використовуються в медичних цілях. На конкретних прикладах показана ефективність конекціоністського підходу до створення систем штучного інтелекту нанороботів.*

### Умовні позначення

ІНР - інтелектуальний наноробот;  
СШІ - система штучного інтелекту;  
ІР - інтелектуальний робот;  
НМ - нейронна мережа;  
 $x$  - вхід;  
 $y$  - вихід;  
 $w$  - ваговий коефіцієнт;  
 $S$  - комбінований вихід;  
 $F_n(S)$  - функція активації;  
 $E$  - енергетична функція;  
 $w_{ij}$  - матриця зв'язків;  
 $s$  - стан модельного нейрона;  
 $\theta$  - поріг модельного нейрона.

Важливою сферою застосування нанотехнологій є медицина, де як один з напрямів є розробка та застосування медичних нанороботів.

Медичні нанороботи повинні, працюючи в судинному руслі, транспортувати ліки безпосередньо до місця їх використання, знаходити та відновлювати пошкоджені органи, відшукувати та знищувати ракові пухлини, в природних умовах діагностувати стан організму, вирішити проблеми СНІДу, атеросклерозу, порушення обміну речовин та запобігати процесам природного старіння організму ([www.klocke-nanotechnik.de/m\\_nanorobotics.html](http://www.klocke-nanotechnik.de/m_nanorobotics.html)).

Нанороботи – це механізми розміром мільйонні долі міліметра, розробка яких почалась зовсім недавно. Нанороботам пророкують велику перспективу застосування в сферах комп'ютерної техніки, медицини, екології, військової техніки, хімічних технологій, інженерії поверхні і т.д. ([www.foresight.org/Nanomedicine/Nanorobotics.html](http://www.foresight.org/Nanomedicine/Nanorobotics.html)).

На даний час конструкції нанороботів є гіпотетичними. Крім того, слід відмітити, що аналіз сфери застосування нанороботів показує неможливість оптимального і економічно ефективного керування нанороботом в зоні, де людина не має уяви, що там робиться. Тому, враховуючи велику перспективу наноробототехніки, подальша розробка їх конструкцій повинна проводитись в напрямку створення інтелектуальних медичних нанороботів. Це створить умови адаптації наноробота до

зміни стану його зовнішнього середовища в режимі реального часу. Тобто перспективи розвитку будуть мати тільки інтелектуальні нанороботи (ІНР).

Крім вище приведених вимог, є ще проблема забезпечення медичних ІНР енергією. Єдиним прийнятним шляхом вирішення цієї проблеми є використання енергетичних каналів організму людини. Але аналіз показує, що, не дивлячись на велику кількість експериментального матеріалу в базі даних біофізики та біохімії через вузькоспеціалізований підхід цих наук, конструкції енергетичних каналів організму людини і закони їх функціонування і досі в повній мірі невідомі.

Об'єктом досліджень автора є розробка конструкції медичних нанороботів, а предметом досліджень – наукові основи формування структури інтелектуальних нанороботів та вирішення проблеми забезпечення медичних ІНР енергією.

Нанороботехніка є мультидисциплінарна область наукових досліджень, де подальша розробка медичних ІНР вбачається в розширенні можливостей сфери їх застосування. Для цього медичні ІНР повинні мати велику гнучкість та автономність при пошуку вирішення поставленої їм задачі. Медичні ІНР повинні вміти розпізнавати та аналізувати ситуації, які виникають в їх діяльності, та приймати рішення про ефективну дію на зовнішнє середовище при непередбачених обставинах. Медичні ІНР повинні бути оснащені пристроями, які можуть сприймати інформацію, яка йде від зовнішнього середовища, аналізувати її і діяти в зовнішньому середовищі способами, аналогічними способам дії людини. Тобто розробка систем штучного інтелекту (СШІ), розробка систем рецепторних та ефекторних механізмів, вирішення проблеми забезпечення медичних ІНР енергією, забезпечення біологічної сумісності наноробота та людини, недопустимість пошкодження цитоскелету клітин є основними задачами при створенні медичних ІНР [1–5].

Структура робота, який взаємодіє з зовнішнім середовищем, в загальному випадку складається з чотирьох систем: а) виконавча система (маніпулятор), яка створює цілеспрямовану ефекторну дію на довкілля; б) інформаційна (акцепторна) система, яка сприймає і перетворює інформацію про стан довкілля, результат дії на довкілля маніпулятора робота та стан самого робота в відповідності з потребами системи керування; в) система керування (СШІ), яка створює закон керування виконавчою системою робота на основі опрацювання даних, що поступають від інформаційної системи; г) система комунікаційних зв'язків, яка організовує обмін інформацією між роботом і іншими функціональними пристроями, в тому числі з іншими роботами [6].

Зрозуміло, що конструктивне виконання цих систем в ІНР в силу розмірних характеристик буде зовсім іншим, ніж в макроскопічних інтелектуальних роботах (ІР), які використовуються в даний час. Оскільки ІНР поки є гіпотетичними, то визначення напрямку створення ІНР проведемо на базі аналізу структур ІР. Основою ІНР буде СШІ, тому аналіз проведемо на базі створення інтелектуальних систем керування ІР. Основна задача ІР є цілеспрямована поведінка в складному, погано організованому довкіллі. Найбільш важливою особливістю ІР є необхідність збору і перетворення інформації в режимі реального масштабу часу. В протилежному випадку ІР не буде встигати за змінами в довкіллі. Це визначає вимоги до швидкодії СШІ.

Функціональна структура СШІ ІР та ІНР включає три основні системи:

1. Сприйняття зовнішньої інформації, що здійснює зв'язок СШІ з довкіллям. Кінцевою метою цієї системи є побудова моделі при зміні стану довкілля. Первинними механізмами в цій системі є датчики-сенсори різного типу. Одним з центральних механізмів цієї системи є проблема розпізнавання образів.

2. Подання знань та їх перетворення. Ця система має мету подання знань про довкілля, їх накопичення, коректування і використання для досягнення поставленої мети.

3. Планування та виконання дій. Основними задачами, які вирішуються цією системою, є вибір маршруту руху для досягнення заданої мети, маніпулювання предметами та забезпечення функціонування гнучких виробничих систем.

В даний час основною ідеєю, яка реалізується в рамках створення реальної системи сфери штучного інтелекту, є ідея побудови інтелектуально-механічних роботів з високим рівнем інтелектуальності і інтелектуальним інтерфейсом, які базуються на сприйманні звукової і зорової інформації, спроможних до виконання розумових і фізико-механічних операцій з самостійною орієнтацією в просторі [7-10].

В науково-технічних програмах Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України і Інституту проблем штучного інтелекту НАН України в останні роки була поставлена задача створення інтелектуальних комп'ютерних систем та робото-технічних засобів, які б відповідали сучасним вимогам і можливостям.

Л.С.Ямпольський і О.А.Лавров [11] відмічають, що створення інтелектуальних роботів потребує розробки як спеціалізованих ЕОМ, так і комплексу електромеханічних, енергетичних і інформаційних систем: сенсорів, двигунів, джерел енергії для локальних мехатронних компонентів. Інтелектуальні роботи орієнтовані на знання, що формуються на підставі потоків інформації про зовнішнє середовище, яка надходить до бортових ЕОМ робота, і оскільки ці знання ситуативні, то потрібне їх опрацювання в режимі реального часу. Остання обставина потребує високої швидкодії системи штучного інтелекту.

Ю.А.Прокопчук [12] приводить результати досліджень інтелектуальних роботів, де робить наступні висновки: 1) складність організації інтелекту повинна бути адекватна складності зовнішнього середовища; 2) інтелект нерозривно зв'язаний з матеріальною субстанцією; 3) складність організації інтелекту забезпечується складністю організації матеріальної субстанції.

І.Б.Сіроджа [13] відмічає, що на даний час рішення важливої погано формалізованої проблеми прийняття рішень в умовах невизначеності дуже далеко від завершення. Це пояснюється відсутністю загально визначених концепцій природного і штучного інтелекту, недосконалістю відомих моделей і методів штучного інтелекту, а також складністю проблеми..

С.А.Полівцев [14] показує спосіб введення в систему керування інтелектуальним мобільним роботом блоку прогнозування, що дозволяє реалізувати рух робота без отримання „карти світу”. Наявність цього блоку і вибору одного рішення з множини доступних рішень дозволяє говорити про наявність в системі керування штучного інтелекту тактичного рівня.

Аналіз наукових праць вчених Попова Е.В. і Фрідмана Г.Ф.[15], Тимофеева А.В. [16], Ющенко А.С. [17, 18], Valavanis K.P., Saridis O.N. [19], Шевченко А.И., Матищенко С.В. [20], Дарінцева О.В., Мігранова А.Б. [21, 22], Кусимова С.Т., Ільєсова Б.Г., Мунасіпова Р.А. [22] показує, що в інтелектуалізованих системах керування роботами широке застосування отримали лише конкретні алгоритми інтелектуалізації. Але інтелектуальний робот, як і людина, є дуже складною системою і тому для його системи керування потрібно використовувати загальноінтелектуальні процедури, придатні для вирішування широкого класу задач функціонування робота в режимі масштабу реального часу.

Перелік вище приведених наукових робіт зі створення ІР дозволяє чітко виділити в системах керування символічний спосіб подання інформації, який склався як технологія роботи з готовою інформацією і знаннями, що базуються на формальній логіці, що є характерним для сучасних комп'ютерів. Одним з найбільш поширених способів реалізації СІІ і ІР є його подання у вигляді програм для ЕОМ. [23]

І.В.Огнєвим і В.В.Борисовим в своїх наукових працях [24] приводяться п'ять генетичних ознак обробки даних:

1. Спосіб подання інформації.
2. Тип запам'ятовуючого середовища.

3. Спосіб доступу до інформації.
4. Сумісництво функцій збереження і переробки інформації.
5. Спосіб процесу обробки інформації.

За першим пунктом ознака може реалізуватись як цифрова або образна, за другим – як дискретна або розподілена, за третім – як адресна або асоціативна, за четвертим – як розділена або суміщена і за п'ятим – як алгоритмічна або така, що може самоорганізовуватись, де перші ознаки є технічними (властиві технічним системам), а другі – біологічні (властиві біологічним системам).

Аналізуючи ці ознаки, І. В. Огнев, В. В. Борисов відзначають, що в даний час є виражена дворівнева система обробки даних (СОД). На одному (найнижчому рівні ієрархії) знаходиться клас технічних СОД ( $k = 0$ ), на другому (верхньому рівні ієрархії) – клас біологічних СОД ( $k = 5$ ), де  $k$  – кількість біологічних ознак.

Вчені відзначають, що при використанні традиційної форми подачі інформації – символічної ні ускладнення архітектури СОД, ні підвищення її швидкодії і продуктивності не в стані забезпечити створення СОД з принципово новими інтелектуальними можливостями, тобто для створення нової моделі СШІ форма подання інформації повинна бути образною (перша біологічна ознака). Дискретні типи запам'ятовуючого середовища в найбільшій мірі відповідають символічній формі подання інформації, тому для створення нової моделі СШІ тип запам'ятовуючого середовища повинен бути розподілений (друга біологічна ознака), отже, найбільш завершеним розподіленим запам'ятовуваним середовищем є мозок людини.

Властивості адресного доступу до інформації (обмеженість, детермінованість і незалежність інформації від адреси) є недоліками, що обумовлюють неефективність адресного доступу в перспективних високопродуктивних СОД, тому асоціативний доступ до інформації (третья біологічна ознака) є більш перспективний, оскільки він забезпечує:

- а) практично одночасний доступ до всієї інформації, яка зберігається в пам'яті;
- б) відносно незалежність часу пошуку інформації від ємності пам'яті;
- в) внесення елементів обробки безпосередньо в процес самого доступу;
- г) обробку інформації безпосередньо в середовищі її зберігання;

Проблема сумісництва функції збереження і переробки інформації (четверта біологічна ознака) є основою збільшення швидкодії ЕОМ і спроби переносу обробки інформації в пам'ять ЕОМ спостерігається протягом всіх етапів розвитку обчислювальної техніки. Але всі ці спроби не були вдалим через недоліки адресних запам'ятовуваних пристроїв, і тільки асоціативний спосіб доступу до інформації дозволить створювати високоефективні СШІ з суміщеними функціями зберігання і обробки інформації.

Алгоритмічний, програмний спосіб обробки інформації характерний для класичних СОД, який базується на фундаментальних властивостях цих систем – символічному способі подачі інформації, дискретних запам'ятовуваних середовищах, адресному способі доступу до інформації, розділеним функціям зберігання і обробки інформації, практично себе вичерпав. Впровадження паралельно-конверсних методів різко ускладнює програмування. Самоорганізація процесу обробки інформації (п'ята біологічна ознака) є надзвичайно перспективним напрямом створення високоефективного СШІ.

Отже, СШІ для ІНР на символічній СОД (сучасні комп'ютерні системи) буде постійно прораховувати всі операції алгоритму, затрачуючи на це багато часу, а СШІ для ІНР на нейронних мережах буде видавати на багато операцій функціонування одразу кінцеві відповіді, підвищуючи швидкість реакції наноробота на зміни в зовнішньому середовищі, що є дуже важливим механізмом його адаптації у довкіллі.

***Створення СОД з п'ятьма біологічними ознаками є перспективним напрямом розробки ІНР. Всі п'ять біологічних ознак СОД мають нейронні мережі,***

*виконані з штучних нейронів. Тому створення СШІ на базі нейронних мереж повинно бути перспективним і для ІНР, і для ІР.*

В створенні штучного інтелекту роботів вже знайшов застосування конекціоністський підхід, в основу якого покладена спроба безпосереднього моделювання розумової діяльності людського мозку. Вважається, що мислення людини є здебільшого асоціативним, і тому для створення СШІ можуть бути використані системи, в основу яких покладено принцип асоціації. Так, в Таганрозькому радіотехнічному інституті під керівництвом професора Н. А. Каляєва розвивається новий підхід до проблеми побудови систем керування інтелектуальними роботами, основою якого є нейроподібні структури. В результаті розроблені теоретичні і практичні основи побудови таких систем. Проведені розробки експериментальних зразків інтелектуальних роботів, призначених для дослідження інших планет Сонячної системи (Марса) в рамках російської космічної програми. Ці зразки ІР пройшли випробування в умовах півострова Камчатка, які підтвердили їх працездатність і ефективність. В основу розробки нейропроцесорних систем ІР покладені нові пристрої побудови систем обробки інформації, які базуються на сучасних представленнях про структурну організацію та механізм функціонування нейронних мереж мозку. Такий підхід дозволяє створити системи, орієнтовані на вирішення складних задач технічної кібернетики і ШІ [25].

А.А.Ждановим, Н.Б.Преображенським та М.В.Крижанівським в рамках проекту 4.5 програми „Інтелектуальні комп’ютерні системи” і проекту РФФИ №01-07-90308 пророблялась біонічна інтелектуальна адаптивна система керування мобільним роботом [26]. Автори відзначають, що в побудові адаптивних систем керування досягнуто великих успіхів, але принцип адаптивного керування, який властивий біологічним системам, все ще залишається незрозумілим і не змодельований навіть в загальних рисах.

„Адаптацію” слід розглядати, як властивість системи автоматично знаходити спосіб керування об’єктом та автоматично змінювати цей спосіб при зміні властивостей цього об’єкту. Автори моделюють роботу нервової системи на рівні нейронів. Тобто знову використовується конекціоністський підхід створення СШІ з використанням нейроподібних структур як більш перспективний, ніж створення СШІ на символічному принципі сучасних комп’ютерів.

Авторами на основі концепції ААС методу (Autonomous Adaptive Control Method) [27] була створена нейроподібна реалізація системи ААС, яка побудована на „елементній базі” зі спеціальних моделей нейронів і синапсів. Ця ААС використана в моделі мобільного робота Gnome #8 для недетермінованого середовища з цільовою функцією керування – напрацювання стереотипів поведінки при обході перешкод. Тому побудована керуюча система розглядається як нейроподібна модель дуже простої нервової системи.

Штучні нейронні мережі (НМ) будуються за принципом організації та функціонування їх біологічних аналогів [28].

Штучна НМ складається з множини однакових елементів — нейронів, де біологічний нейрон моделюється як пристрій з багатьма входами і одним виходом. Кожному входу  $x$  ставиться у відповідність деякий ваговий коефіцієнт  $w$ , який характеризує пропускну здатність каналу і він оцінює міру впливу сигналу з цього входу  $x$  на сигнал на виході  $y$ . В тілі нейрона проходить зважене сумування вхідних збуджень – комбінований вихід  $s$ , і далі це значення є аргументом нелінійної функції активації нейрона  $F_n(s)$ . Інформаційна структурна модель штучного нейрона показана на рисунку 1А.

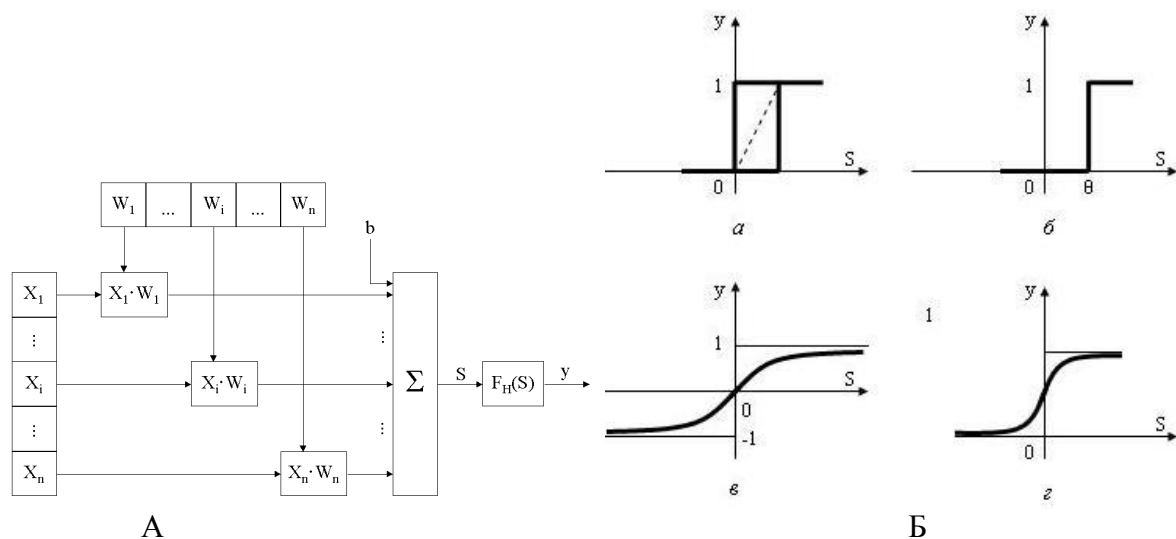


Рис. 1. А - Інформаційна структурна модель штучного нейрона; Б-Типи функції активації нейрона:  
 а –порогова функція з гістерезисом; б - порогова функція у вигляді одиничного скачка;  
 в - у вигляді сигмоїду – гіперболічний тангенс; г - у вигляді сигмоїду – логістична функція

Функція активації нейрона є нелінійною і може мати вид, показаний на рис.1.Б.  
 Математична модель нейрона

$$s = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b, \tag{1}$$

$$y = F_h(s), \tag{2}$$

де  $i = 1, \dots, n$ ;  $b$  – значення зміщення;  $x_i$  - компонента вхідного вектора;  $n$  – число входів нейрона.

Робота НМ реалізується в два етапи: навчання і адаптація. Під навчанням розуміють процес адаптації НМ до еталонного зразка шляхом модифікації вагових коефіцієнтів зв'язків між нейронами. Цей процес є результатом алгоритму функціонування НМ, а не попередньо закладених в неї знань людини, як це робиться в США на базі сучасних комп'ютерів.

Мережі з штучних нейронів добре себе зарекомендували. Однак лише лічені одиниці штучних нейронних мереж реалізовані апаратно. Абсолютна ж більшість їх реалізована програмно, тобто є віртуальними машинами, що працюють на традиційних універсальних комп'ютерах. Другий варіант є вигідний в силу дешевизни і високої продуктивності сучасних масових комп'ютерів. Апаратно уже реалізована тривимірна штучна нейронна мережа, наприклад, у процесорі NASA, що імітує принципи дії людського мозку, хоч останній ще не досить досліджений. Для цього використано дві технології: розроблені в Лабораторії реактивного руху NASA – багатозв'язні нейронні мережі на VLSI-чипах і створена компанією Irvine Sensors методика тривимірного розміщення таких чипів. Продуктивність пристрою, за твердженням NASA, складає більше трильйона операцій в секунду.

Нейропарадигми побудови нейронних мереж [29] розділяються на два типи: ітеративні, які керуються правилами модифікації ваги синапсів, і неітеративні.

Ітеративні НМ для нормального функціонування повинні пройти процес навчання, який полягає в корекції ваги міжнейронних зв'язків. Період, протягом якого проводиться корекція, називають епохою, і процес навчання ітеративних НМ може займати від десятків до багатьох тисяч епох.

Нейропарадигми неітеративного типу є розвитком концепції повнозв'язної НМ Д.Хопфілда [30] – мультистійкої системи, що, будучи виведена зі стану рівноваги,

робить коливання, які завершуються переходом у найближчий стійкий стан - аттрактор, що відповідає мінімуму потенційної енергії.

Д.Хопфілд зробив висновок, що конвергенція є аналогом асоціативного пошуку інформації, і мережа Хопфілда досягає такого ж результату, як і при навчанні ітеративної НМ, обминаючи довгий ітеративний процес корекції зв'язків за правилами Хебба. При цьому Хопфілд довів, що його модель при конвергенції виконує пошук глобального мінімуму енергетичної функції. Встановлюючи певним чином ваги зв'язків в початковий стан, можна використати цю властивість для вирішення складних оптимізаційних задач.

Виходячи з задачі створення систем штучного інтелекту ІНР, об'єктом досліджень візьмемо неітеративні НМ тому, що тільки вони могли стати прообразом структури формування інтелекту людини в результаті можливості їхнього самонавчання.

Отже, концептуальний напрям створення ІНР визначений, це створення СШІ на базі НМ.

Д.Хопфілд математично описав поведінку НМ енергетичною функцією  $E$  (гамільтоніаном)

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j w_{ij} s_i s_j + \sum_i \theta_i s_i . \quad (3)$$

В міру спрацьовування нейронів  $E$  буде монотонно зменшуватися, поки не буде досягнутий стан її мінімуму. Еволюція мережі з будь-якого початкового стану приходить у стан локального мінімуму  $E$ .

Що означає еволюція НМ Хопфілда в стан мінімуму енергії для апаратно реалізованої НМ на даний час невідомо. Дотепер детально не досліджені динаміка окремо взятого нейрона і системні конструкторсько - технологічні характеристики нейрона та НМ. І не випадково у вчених є велике побоювання, що розвиток СШІ може створити проблему „термінатора”. Тому дослідження цих характеристик є першочерговою задачею досліджень. Використання НМ для створення систем штучного інтелекту ІНР висуває необхідність більш глибокого їх вивчення, особливо апаратних реалізацій НМ, тому що емульована на комп'ютерах НМ скрадає реальні системні характеристики апаратних реалізацій.

В технічному забезпеченні розробки конструкцій інтелектуальних роботів широкої сфери застосування закон Мура (подвоєння швидкості обробки інформації за кожні наступні 1,5 роки) та швидкий розвиток нанотехнологій (побудова елементної бази оптичних і квантових комп'ютерів) зводить задачу розробки СШІ конструкцій інтелектуальних роботів до розробки конструкцій інтелектуальних нанороботів. Причому головною задачею вирішення цієї проблеми є створення СШІ нанорозмірів. На даний час дослідники прийшли до висновку, що основною задачею розробки СШІ є пізнання процесів функціонування ”Розуму”. При цьому виникають фундаментальні і прикладні проблеми:

- визначення можливості реалізації нейронною мережею функцій енергетичної, сенсорної і виконавчої структури методом моделювання нанотехнічної системи макротехнічною
- визначення конструкції одиничних елементів „Розуму” і конструкції „Розуму” в цілому та фізичної суті „Інтелекту”;
- наукового обґрунтування концепції створення ІНР;
- розробка конструкції ІНР та визначення законів його функціонування.

Отже, створення ІНР зводить в один напрям і фундаментальні, і прикладні проблеми науки. А оскільки на даний час є невідомими такі важливі для реалізації ІНР фундаментальні дані про конструкції одиничних елементів „Розуму” і конструкції „Розуму” в цілому, то, очевидно, це можна пояснити тільки відсутністю спеціальної методології їх досліджень. Тому виникає ще одна проблема – визначення методики створення та досліджень ІНР.

В основу створення ІНР автор ставить наступні свої гіпотези:

1. Природа поняття „Розум” є чисто технічною [31-34].
2. „Розум” і „Інтелект” мають конкретну визначену конструкцію [31-34].
3. Структура конструкції „Розуму” є фрактальною [35]. Це означає, що попередній фрактал може існувати без наступного, але не навпаки. Тому вирішення вказаних вище проблем потребує глобального підходу, який включає розгляд структур формування „Розуму” як мінімум на рівні Сонячної системи.

### **Висновки**

1. Концептуальний напрям створення медичних інтелектуальних нанороботів визначений як створення системи штучного інтелекту на базі нейронних мереж.
2. В основу створення ІНР автор ставить наступні свої гіпотези:
  - Природа поняття „Розум” є чисто технічною.
  - „Розум” і „Інтелект” мають конкретну визначену конструкцію.
  - Структура конструкції „Розуму” є фрактальною. Це означає, що попередній фрактал може існувати без наступного, але не навпаки. Тому вирішення вказаних вище проблем потребує глобального підходу, який включає розгляд структур формування „Розуму” як мінімум на рівні Сонячної системи.

*Development of the proved definition of a direction, the plan and hypotheses of creation of system of an artificial intellect for nanorobotics which are used in the medical purposes is resulted. On concrete examples the shown efficiency of use of neural networks for creation of systems of an artificial intellect nanorobotics.*

### **Література**

1. Robert A. Freitas Jr., Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities, Landes Bioscience, Georgetown, TX, 1999. See at: <http://www.nanomedicine.com/>
2. Robert A. Freitas Jr., "How Nanorobots Can Avoid Phagocytosis by White Cells - Part I," Foresight Update No. 45, 30 June 2001, pp. 10-12. See at: <http://www.imm.org/Reports/Rep027.html>.
3. K. Eric Drexler, *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*, Anchor Press/Doubleday, New York, 1986
4. Robert A. Freitas Jr., Nanomedicine, Volume IIА: Biocompatibility, Landes Bioscience, Georgetown, TX, 2002.
5. R.A. Freitas Jr., Nanomedicine, Volume IIА: Biocompatibility, Landes Bioscience, Georgetown, TX, 2003; <http://www.nanomedicine.com/>
6. В.И. Костюк, А.П. Гавриш, Л.С. Ямпольский, А.Г. Карлов. Промышленные роботы. – К.: Вища школа, 1985. – 359 с.
7. Интегральные роботы. Сборник статей. Пер. с англ. Под редакцией Г.Е. Поздняка. – М.:Мир, 1973. – 421с.
8. Арбиб М. Метафорический мозг. Пер. с англ. Э.Л. Наппельбаума / Под ред. Д.А. Поспелова. –М.: Мир, 1976. -295 с.
9. Каноненко Н.А. Проблемы и методы интеллектуализации робототехнических комплексов и систем.- К.: Знание, 1990.- 21с.
10. Рибак Л.П., Сілін Р.І., Кіптик В.Д. Перспективи розвитку техносфери ХХІ століття // Машиностроение и техносфера на рубеже ХХІ века, Сборник трудов VII международной научно-технической конференции. –Донецк, 2000. – С.104-110.
11. Л.С. Ямпольський, О.А. Лавров. Штучний інтелект у плануванні та управлінні виробництвом. – К.: Вища школа, 1995. –12с.
12. Ю.А. Прокопчук. Образно-волновая модель интеллекта // Искусственный интеллект. – 2002. – №3. – С.7-16.
13. И.Б. Сироджа. Квантовые модели и методы инженерии знаний в задачах искусственного интеллекта // Искусственный интеллект. – 2002. – №3. – С.161-171.
14. С.А. Поливцев. Система управления с предсказанием для интеллектуального мобильного робота // Искусственный интеллект. – 2002. – №4. – С.81-87.
15. Попов Е.В., Фридман Г.Ф. Алгоритмические основы интеллектуальных роботов и искусственного интеллекта. –М.: Мир, 1976. – 183с.
16. Тимофеев А.В. Роботы и искусственный интеллект. – М.: Наука,1978. – 192с.
17. Ющенко А.С. Принципы интерактивного управления роботами // Робототехника: новый этап развития. – М.: Наука, 1993. – С.129-139.
18. Ющенко А.С. Дистанционное управление роботами с использованием нечетных представлений // Искусственный интеллект. –2002. – №4. – С.388-396.



19. Valavanis K.P., Saridis O.N. Probabilistic modeling of intelligent robotic system // I IEEE.Trans.Rob. and Autom. – 1991. – 7, №1. –pp.164-171.
20. Шевченко А.И., Матищенко С.В. Мобильный робот „Интеллект – 12”// Искусственный интеллект. – 2002. – №4. – С.380-387.
21. Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Виртуальная роботизированная электроборочная фабрика, алгоритмы интеллектуального планирования и управления. // Искусственный интеллект. – 2002. – №4. – С.397-404.
22. Кусымов С.Т., Ильясов Б.Г., Мунасипов Р.А., Даринцев О.В. Мобильный пьезоэлектрический микроборочный робот // Мехатроника. – 2001. – №6. – С.29-33.
23. Г.А. Спыну. Промышленные роботы. Конструирование и применение. – К.: Вища школа, 1991. – С.285-302.
24. І.В. Огнев, В.В. Борисов. Ассоциативные среды. – М.: Радио и связь, 2000. – 311с.
25. Н.А. Каляев, А.П. Кухаренко. НИИ МВС ТРТУ – 30 лет: история, достижения, перспективы // Искусственный интеллект. – 2002. – №3. – С.25-44.
26. Жданов А.А., Преображенский Н.Б., Крыжановский М.В. Бионическая интеллектуальная адаптивная система управления мобильным роботом // Искусственный интеллект. – 2002. – №4. –С.341-350.
27. Zhdanov A.A., Ryadovikov A.V. Neural Models in the Autonomous Adaptive Control Method // Optical Memory and Neural Networks. – 2000. – Vol.9, №2. – P. 115-132.
28. Ф. Уоссермен, Нейрокомпьютерная техника. – М.:Мир, 1992. - 240 с.
29. Резник А.М. Неитеративное обучение нейронных сетей // Математические машины и системы. – 1998. – №2. – С. 18-24.
30. Hopfield J.J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 1982. –V79. – P.2554-2558.
31. Л.П. Рыбак. До питання визначення законів функціонування штучного інтелекту // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2000. №2, - С.30 -36/
32. Л.П. Рыбак, Р.И. Силин. Интеллект человека как научная проблема // Искусственный интеллект, 2002. №3 – С.150 – 160.
33. Рыбак Л.П., Сілін Р.І., Кіптик В.Д. Перспективи розвитку техносфери ХХІ століття // Машиностроение и техносфера на рубеже ХХІ века, Сборник трудов VII международной научно-технической конференции. –Донецк, 2000. – С.104-110.
34. Л.П. Рыбак. Синтез структурных схем нейронів та нейронних мереж // Вісник Технологічного університету Поділля -№ 4. 2003. С206-213.
35. Рыбак Л.П., Фрактальність – основна структура побудови біологічної системи Homo sapiens // Збірник наукових праць СИЭТ7-00.2000. Вип.7.

*Одержано 14.06.2004 р.*