

## КОМП'ЮТЕРНО-МОЗКОВА МОДЕЛЬ ПАМ'ЯТІ І ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

*У статті, на основі аналізу механізмів роботи пам'яті і прийняття рішень людиною, розглядається суб'єктно-орієнтована комплексна комп'ютерно-мозкова модель роботи пам'яті, навчання й процедури вироблення рішень і доцільність використання такої моделі при створенні складних технічних систем, в тому числі інтелектуальних систем аналізу даних і систем з штучним інтелектом, що працюють в умовах невизначеності, і для яких важлива оперативність і ситуативна достовірність в прийнятті рішень.*

**Постановка проблеми.** У складних системах, які працюють у середовищі в умовах недостатньої визначеності, для оптимальної обробки вхідної інформації намагаються використовувати інтелектуальний (Data Mining) аналіз даних [1]. Не менш важливо для таких систем прийняття робастних і адекватних ситуації рішень. Ці завдання багато в чому близькі до проблем які постійно розв'язуються живими організмами. Тому, враховуючи відносно новизну розглянутих завдань для складних систем і відпрацьовані еволюцією у живих організмів до досконалості відповідні механізми пам'яті та вироблення рішень, проявляється підвищений інтерес до аналізу роботи цих механізмів у живих організмів і їх емуляції для створення складних технічних систем.

У процедурі сприйняття інформації людиною, її усвідомлення і прийняття рішень (ПР) його пам'ять відіграє визначальну роль і, отже, в його діях та намірах. Тому організацією пам'яті людини, крім нейрофізіологів і психологів біхевіористів, активно цікавляться фахівці в галузі когнітивної психології та теорії прийняття рішень [2, 3, 4], а також творці штучних нейронних мереж, нейрокомп'ютерів і систем штучного інтелекту (СШ) [5, 6, 7].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розрізняють три основних етапи переробки інформації в пам'яті людини: отримання інформації із зовнішнього середовища та її кодування, зберігання інформації в пам'яті й вилучення з пам'яті.

Виходячи з варіантів вилучення із пам'яті, розрізняють імпліцитну (неусвідомлювану) і експліцитну (усвідомлювану) види пам'яті [3]. Процес обробки інформаційного сигналу відбувається паралельно, як на несвідомому рівні, пов'язаним з роботою імпліцитної пам'яті, так і на свідомому рівні, пов'язаному з роботою експліцитної пам'яті, і відгук на сигнал надходить з областей головного мозку, пов'язаних з цими рівнями, по двох нервових шляхах у мигдалину лімбічної системи, де формується сигнал реагування [8]. При цьому обробка інформації на несвідомому рівні відбувається значно швидше і різниця між імпліцитною і експліцитною реакціями може досягати 500 мс [9], і, якщо мозок не приймає рішення, виходячи з встановлених ним критеріїв, про пріоритет експліцитної реакції, то мигдалина формує сигнал управління на основі швидшої імпліцитної реакції. У дослідях з конфліктними стимулами було зафіксовано використання підслідними імпліцитного навичку в ситуації, коли конфліктних стимулів було до 25 %, а при їх кількості в 75 %, випробовувані стали використовувати тільки експліцитні знання [10]. Зазвичай, велика частина часу поведінки людини відбувається на автоматичному несвідомому рівні.

За тривалістю зберігання та обсягом інформації, що запам'ятовується зазвичай виділяють два різних типи пам'яті: короткочасну пам'ять (КП) і довготривалу пам'ять (ДП) [4, 11]. Такий поділ було підкріплено рядом моделей пам'яті на основі комп'ютерної метафори, за допомогою якої проводять аналогію між перетворенням даних комп'ютером і пізнавальними процесами у людини. При цьому, сама комп'ютерна метафора була вироблена на основі когнітивної метафори, використовованої у когнітивній психології, шляхом спілкування з фахівцями в галузі обчислювальної техніки, нейронауки, інформатики і штучного інтелекту [3, 11].

Досить популярною до теперішнього часу є модель пам'яті Р.Актінсона і Р.Шифріна [12], по якій поточна вхідна інформація із зовнішнього середовища надходить у сенсорні регістри, де зберігається близько 300 мс. Ця інформація сканується і по сигналу з системи управління (СУ) вибрані дані перенесуться у КП, де проводиться їх кодування. Обсяг КП обмежений і кожен що надходить у КП нові  
© М.В. Козлов, 2013  
більш ранній патерн. Максимальний час зберігання патернів у КП до 30 с. З КП інформація по сигналу з СУ надходить у ДП, де може зберігатися постійно і у великих обсягах. Між ДП та КП є зворотній зв'язок, який дозволяє по керуючому сигналу з СУ відновлювати раніше отриману інформацію в КП.

За даними, наведеними в [11], час зберігання інформації в сенсорному сховищі від 250 мс до 4 с, тривалість зберігання інформації в КП, без її відновлення, 12 с і час відтворення кожного патерну 35 мс.

Обсяг збереженої в КП інформації обмежений, і на підставі досліджень Дж.Міллера [13] межею пропускної здатності людини є число  $7 \pm 2$  чанків («магічне число  $7 \pm 2$ »), де чанк (chunk) якийсь смисловий образ, який може бути, наприклад, як буквою, що запам'яталося, так і цілої фразою. За даними пізніших досліджень, у тому числі і на собі, одним із засновників когнітивної психології, лауреатом Нобелівської премії, Г.Саймоном [14], обсяг КП становить від п'яти до семи чанків.

Дослідження, проведені Брендю Мілнер, показали, що при ураженні гіпокампу у пацієнтів з такою поразкою нормально працює КП, але не зберігається нова інформація в ДП. Подальше дослідження Мілнер показали, що пошкоджується тільки довготривала експліцитна пам'ять і зберігається довготривала імпліцитна пам'ять, яка пов'язана з навчанням перцептивних та моторних навичок [15]. Таким чином, було підтверджено необхідність поділу КП і ДП й виділення імпліцитної та експліцитної пам'ятей.

Відповідно до уявлення більшості когнітивних психологів, простий дихотомій пам'яті, представленої в моделі [12], недостатньо і з КП пов'язують процеси ПР і роботу експліцитної пам'яті, усвідомлено контролюваною людиною, що бере участь в короткочасному зберіганні та обробці вербальної і зорової інформації [16]. Враховуючи активний характер такої часової пам'яті, пов'язаний з обробкою інформації що надходить до неї спільно із раніше занесеною до ДП, таку пам'ять назвали робочою (РП). Бедді та Хітч розробили першу модель РП [17], що складається з трьох компонентів: фонологічної петлі, що відповідає за тимчасове зберігання вербальної інформації, зорово-просторової матриці, що відповідає за повторення образів та їх короткочасне зберігання, та центрального адміністратора, координуючого зберігання, обробку та вилучення інформації з ДП. Пізніше Бедді розробив нову багатокомпонентну модель РП [18], ввівши епізодичний буфер, що забезпечує часовий інтерфейс між фонологічною петлею, зорово-просторовою матрицею та ДП і здатний зберігати інформацію в багатовимірному коді.

Нейрофізіологами при аналізі роботи центральної нервової системи людини було виявлено, що при формуванні ДП відбувається затримка в часі, і, умовно, можна говорити про наявність між КП і ДП проміжної вторинної пам'яті. У вторинній пам'яті може накопичуватися інформація, що надходить з КП від декількох хвилин до декількох років, частково стиратися і перетворюватися перед збереженням її у ДП. Однією з особливостей вторинної пам'яті є те, що час звернення до неї значно більше, ніж при зверненні до КП і ДП. В результаті була розроблена модель пам'яті на основі 3-х видів часу зберігання інформації [19]. З сенсорної пам'яті інформація надходить в первинну пам'ять і там може повторюватися через зворотній зв'язок з виходу на вхід первинної пам'яті, або забуватися або переноситися у вторинну пам'ять. У вторинну пам'ять також надходить з сенсорної пам'яті частина імпліцитної інформації. З вторинної пам'яті інформація надходить у третинну довготривалу пам'ять.

На підставі досліджень функціонування лімбічної системи головного мозку була виявлена важлива роль емоцій у виробленні рішень людиною [20]. Також було виявлено, що при ураженні мигдалини лімбічної системи, у пацієнтів відбувалося порушення формування миттєвої (первинної) емоційної реакції, а при пошкодженні вентромедіального сектора префронтальної кори порушення формування вторинної емоційної реакції, виробленої на основі накопиченого попереднього досвіду [21, 22], що говорить про наявності емоційної пам'яті. Проведені дослідження показують різноманітний вплив емоцій на роботу когнітивної області пам'яті [23] і в результаті виявленого двобічного зв'язку між лімбічною системою, яка відповідає за вироблення емоцій, і кортикальними центрами, які регулюють емоції, когнітивні психологи переходять до більш складних моделей ПР [24].

Для побудови всього різноманіття емоцій використовують деяку кількість базових емоцій, яка у різних фахівців коливається від 2 до 14 [25]. При цьому, особливо заслуговує на увагу, розглянута в [23] модель емоцій у двовимірному просторі на основі двох пар базових емоцій Приємне – Неприємне і Збудження – Не збудження, а також модель емоцій PAD [26], що користується популярністю у розробників США і роботів з штучним інтелектом, в якій використовуються три пари базових емоцій: Задоволення – Незадоволення, Збудження – Не збудження, Домінантність – Покірність, і на основі яких виробляється статистична оцінка всіх вироблюваних емоцій. У зв'язку з наявністю емоційної пам'яті, слід зазначити, що, крім пов'язаних зі входною інформацією (відчуттями) сенсорних видів пам'яті, також є вихідна у відношенні до мозку короткочасна пам'ять, яка зовні відображає на обличчі емоційний стан і через зворотній зв'язок підтримує цей стан знижуючи навантаження на роботу когнітивної системи [7]. Таку пам'ять, пов'язану з м'язами обличчя, можна позначити як мімічну.

**Мета роботи.** Основною метою даної роботи є побудова комп'ютерно-мозкової моделі формування пам'яті і вироблення рішень в складних технічних системах, аналізу її роботи і можливостей застосування.

**Викладення основного матеріалу.** З розглянутого вище видно, що представлені моделі пам'яті не відображають багато аспектів пов'язаних з її функціонуванням. Крім того, комп'ютерні моделі пам'яті, розроблені для аналізу мозкової діяльності людини, мало дають інформації для розробки складних технічних систем, включаючи США і роботів з елементами штучного інтелекту. З іншого боку, отримана

інформація про діяльність мозку людини, в тому числі й завдяки використанню комп'ютерної моделі для досліджень структурної організації пам'яті, дає досить багатий матеріал фахівцям у галузі штучного інтелекту та настала пора використовувати вже мозкову метафору для розробки СШП.

Виходячи з цього, розглянемо побудову комп'ютерно-мозкової моделі формування пам'яті, навчання й вироблення рішень, що дозволяє з одного боку – більш комплексно змоделювати процеси, що відбуваються в головному мозку людини, а з іншого боку – допоможе при створенні складних технічних систем.

При побудові комп'ютерно-мозкової моделі враховуватимемо характерну для живих організмів особливість, пов'язану з тим, що вони як і передбачувані СШП, постійно працюють в умовах значної невизначеності зовнішнього середовища.

На рисунку 1 представлена суб'єктно-орієнтована комплексна комп'ютерно-мозкова модель (КММ) формування пам'яті та прийняття рішень.

У гіпотетичній системі, на основі даної моделі, різні сенсори сенсорної пам'яті за допомогою блоку аналізу і обробки даних (БАОД) адаптуються до поточних відчуттів і отримані дані селектуються БАОД за допомогою адаптивної перцептивної фільтрації. Вибрану інформацію БАОД сортує на експліцитну та імпліцитну і, відповідно, заносить ці види інформації по верхньому шляху в короткочасну експліцитну пам'ять (КЕП) і по нижньому шляху в буферну імпліцитну пам'ять (БІП). У КЕП через БАОД також заносяться необхідні для обробки патерни інформації, що раніше надійшли з адаптивної тимчасової експліцитної пам'яті (АЧЕП) і з ДП.

Іншим шляхом з БІП під управлінням БАОД імпліцитна інформація заноситься в адаптивну тимчасову імпліцитну пам'ять (АЧІП). БІП і АЧІП деякою мірою виконують функції гіпокампа і мигдалини лімбічної системи людини.

Постійна вроджена пам'ять (ПВП) містить у собі генетичні коди, базові емоції (вроджені реакції на навколишнє середовище): Незадоволення – Задоволення і пам'ять вроджених навичок і забезпечує генетичну схильність призначень окремих ділянок мозку.

Диспетчеризація усіма процесами в системі вироблення рішень проводиться блоком прийняття рішень (БПР).

Виконавча моторна пам'ять (ВМП), включає моторну, мимічну та інші периферійні елементарні види пам'яті.

Поточний стан системи через блок оцінки стану суб'єкта поступає в БПР для коректування вироблення рішення, наприклад, за типом гормонального впливу на центри прийняття рішень у живих організмів.

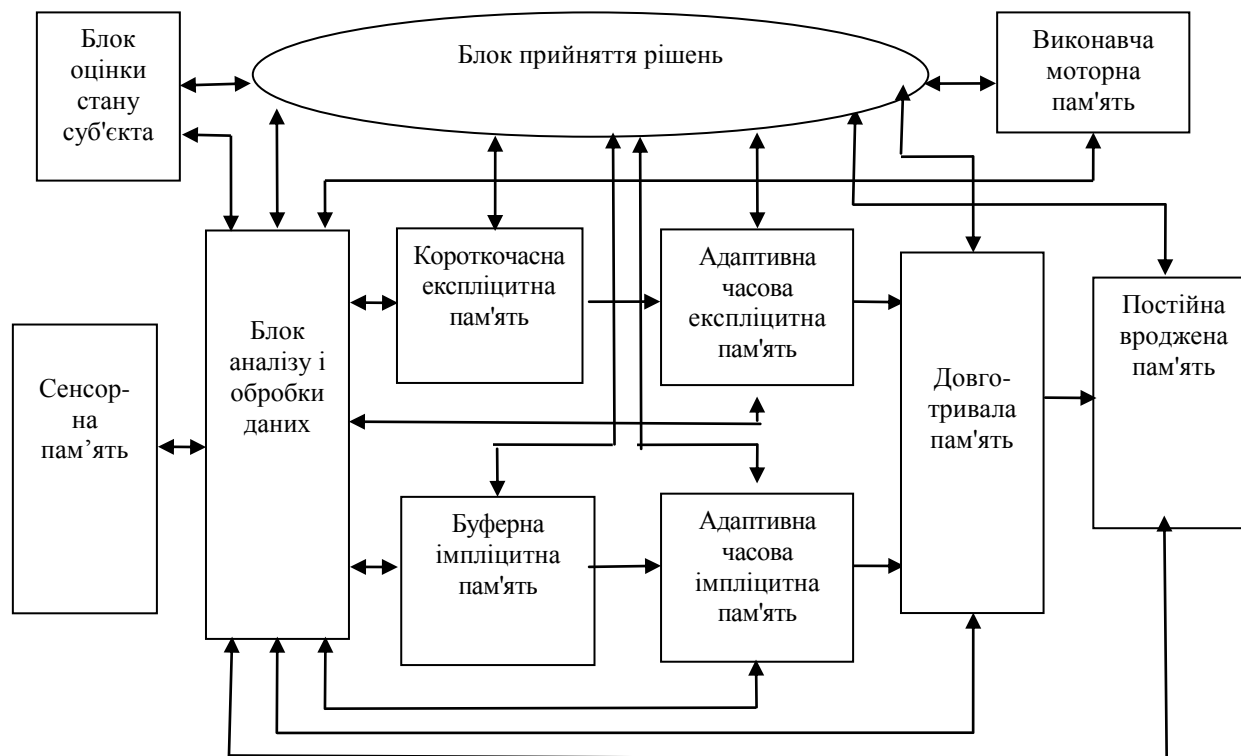


Рис. 1. Комплексна комп'ютерно-мозкова модель пам'яті і прийняття рішень

У технічних системах нижній шлях може служити для вирішення завдань багатопараметричної оптимізації, а верхній для вирішення абстрактних завдань, багатокритерійної оптимізації та підготовки рішень в умовах невизначеності. Нижній шлях успішно розвивається в складних технічних системах. Додаткове використання верхнього шляху наділить їх штучним інтелектом і в сукупності вийде система, здатна вирішувати багатокритерійні, багатопараметричні завдання і завдання, обумовлені невизначеністю ситуації.

У БАОД спільно з КЕП проводяться практично одночасно розпізнавання, що надійшли в КЕП патерну, класифікація з урахуванням наявних в АВЕП, ДП і ПВП даних, швидка процедура підбору суб'єктно-орієнтованої моделі апроксимації патерну з необхідним відновленням моделі за частково заданими ознаками патерну. Моделі патерну (далі у тексті патерн)  $P_i$ , виходячи з ряду критеріїв, привласнюється векторний маркер  $m_i$  розмірності  $j$ :

$$m_i = [m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{ij}], \quad (1)$$

де величина  $j$  визначається кількістю оцінних критеріїв для патерну,  $j \in [1, k]$ ,  $k$  – максимально можливе число критеріїв.

При цьому по одній з множини складових векторного маркера  $m_i$  проводиться емоційна оцінка патерну, а по іншій прив'язка до часу, для якої, наприклад, мозок людини використовує біологічні ритми. Кожна з  $j$  складових маркера характеризується двома параметрами – виглядом і величиною. Надалі векторний маркер  $m_i$  може служити для визначення адрес патерну в кластерному просторі пам'яті.

За складовми векторного маркера проводиться відображення патерну в просторі пам'яті (картировання) і, таким чином, є можливість, виходячи з безлічі критеріїв  $j$ , за якими оцінюється патерн, мати безліч відображень патерну, що відповідає просторовій організації пам'яті живих організмів [8, 11]. Відображення патерну може бути також вектором меншої розмірності.

Роботу БАОД, спільно з АЧЕП, з обробки вхідних даних можна, деякою мірою, порівняти з роботою ієрархічної часової пам'яті НТМ (Hierarchical Temporal Memory) [22], що вдає із себе 6-ти рівневі ієрархічні шари з великою кількістю зворотних зв'язків і що імітує вертикальні гіперколони неокортексту, здійснюючу обробку і накопичення інформації. Для цього варіанту маркери матимуть ієрархічну багатовекторну структуру.

Час зберігання поточної інформації в КЕП дещо більше часу її оцінки в БАОД і після обробки, сформовані відображення патерну або переносяться в АЧЕП або, патерн через обмеженість ємкості сховища КЕП, витісняється новою інформацією.

Та, що надходить в АЧІП імпліцитна інформація також маркується в БАОД за своїми критеріями. На основі цих даних в АЧІП за допомогою БАОД, ДП і ПВП виробляються суб'єктні моделі навиків (СМН) і потім вони закріплюються в ДП.

БАОД здійснює роль привратника Фрейда, який умовно помістив його в мозку людини між передпокоєм, в який надходить вся сенсорна інформація, і другим приміщенням, в якому міститься свідомість, при цьому привратник цензурує інформацію і пропускає обрану усвідомлену частину виходячи зі своїх емоційних переваг [28]. Але якщо скористатися аналогією Фрейда, то для розглянутого БАОД, привратника треба підвищити до посади секретаря-референта, який розкладає по папках (кластерах) поточну інформацію, надаючи їй певне емоційне забарвлення. Він робить сортування, селекцію та накопичення даних в кластерах, виробляючи інтелектуальну обробку даних, і, природно, 2-х кімнатну квартиру Фрейда треба розширити, додавши третє проміжне приміщення для канцелярії, роль якого для БАОД виконують КЕП та АЧЕП. При цьому КММ можна розглядати як суб'єктно-орієнтовану. У СШІ для реалізації функції привратника за оцінкою даних можуть бути використані нейронні мережі побудовані на основі теорії адаптивного резонансу (модель ART) [29].

У [8] на ряді експериментів при формуванні навчання при сенсibilізації та класичному обумовленні (формуванні умовного рефлексу за Павловим [19]), була показана важливість для закріплення в пам'яті інформації її повторення з розбиттям числа повторень на серії та рознесенням їх у часі. З іншого боку, при реакції звикання було відзначено зниження відгука на що не несуть важливу інформацію зовнішні сигнали і така інформація не буде довго зберігатися. На цій підставі наведену у [23] пару емоцій Збудження – Не збудження, можна розглядати не як базову, а як вироблену внаслідок навчання елементів лімбічної системи.

Відображення патернів що надходять до АЧЕП перевіряються на їх актуальність за допомогою попередньої частотно-часової фільтрації (ЧЧФ), шляхом визначення їх важливості, на підставі величини емоційної оцінки привласненого маркера, частоти і часу надходження. Аналогом такої ЧЧФ може служити розглянута в [30] фільтрація у проміжній пам'яті СШІ за рахунок дискретної лінійної згортки величин оцінки маркера  $Q_i(n)$  патерну  $v$  з дискретно-часовою ваговою функцією  $W(n)$

$$P_v(n) = \sum_{m=0}^n W(m) \cdot Q_v(n-m). \quad (2)$$

Величина  $Q_v(n)$ , залежно від надходження на вхід ЧЧФ патерну, що повторюється, або його відсутності, набуватиме дискретних значень  $Q_v$  або 0.

Як дискретну вагову функцію  $W(n)$  можна використовувати вживану в нейронних мережах сігмоїдну функцію вигляду

$$W(n) = \frac{A}{1 + e^{-(kn)^\beta}}, \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт крутизни вагової функції;  $\beta$  – показник ступеня;  $A$  – нормуючий множник.

Виходячи з емоційної оцінки і супутніх чинників, вихідні дані ЧЧФ за подібними патернами, що поступають, розглядаються як реакції звикання, сенсифікації або асоціативного навчання, при цьому векторний маркер може бути відкоректований як для вихідних патернів, так і для тих, що поступають в КЕП подібних патернів.

Для технічних систем реакцію звикання до вхідних патернів можна розглядати як антиспамову фільтрацію в АЧЕП неістотної або такої, що заважає роботі даної системи інформації. А реакції сенсифікації і асоціативного навчання, при привласненні БАОД вхідним патернам певного емоційного забарвлення, як ознаки подальшого використання цих патернів для навчання. За деякими емоційними оцінками патернів, при перевищенні в ЧЧФ порогу Збудження, проводиться формування в БПР стану підвищеної готовності.

Вони пройшли через ЧЧФ статистичну обробку відображення патернів, виходячи з привласненого БАОД класифікаційного маркера, поступають у відповідні кластери АЧЕП. На базі всіх нових інформаційних ресурсів, що поступають, в АЧЕП, за допомогою БАОД і використань даних КЕП і ДП, проводиться ускладнення і формування нових кластерів і створення на цій основі простору суб'єктних моделей знань (СМЗ). У просторі СМЗ проводиться розгорнена в часі адаптивна ітераційна процедура генерації аттракторних СМЗ за рахунок збільшення ваги суб'єктно-достовірніших моделей знань і придушення інших СМЗ, що належать до цього класу. Враховуючи процедуру формування СМЗ її також можна назвати суб'єктним аттрактором знань (САЗ).

У міру надходження нових патернів утворюються більш сконцентровані (високодобротні) аттрактори СМЗ і, таким чином, підвищується їх достовірність. Це характерно для експертів, які накопичують дані протягом багатьох років [14]. Така процедура в АЧЕП проводиться по аналогічно з адаптивним підстроюванням синапсичних зв'язків сусідніх нейронів в мозку, що приводить до посилення одного або групи нейронів і придушення роботи тих, що оточують [5]. У системах, на основі штучних нейронних мереж, таке навчання можливе на основі адаптивної резонансної теорії і подібних розробок [5, 29].

Поява високодобротного головного аттрактора СМЗ стимулює генерацію, на базі наявних інформативних ресурсів, нових локальних аттракторних СМЗ, які можуть скласти конкуренцію головної СМЗ і одна з локальних СМЗ може змінити головну, що показано на рисунку 2.

Використання терміна аттракторних СМЗ, замість термінів сліди пам'яті або енграмми, відображає активний динамічний і декілька стохастичний характер формування СМЗ.

Таким чином, що інформація надходить людині запускає механізм динамічної і стохастичної пластичності мозку.

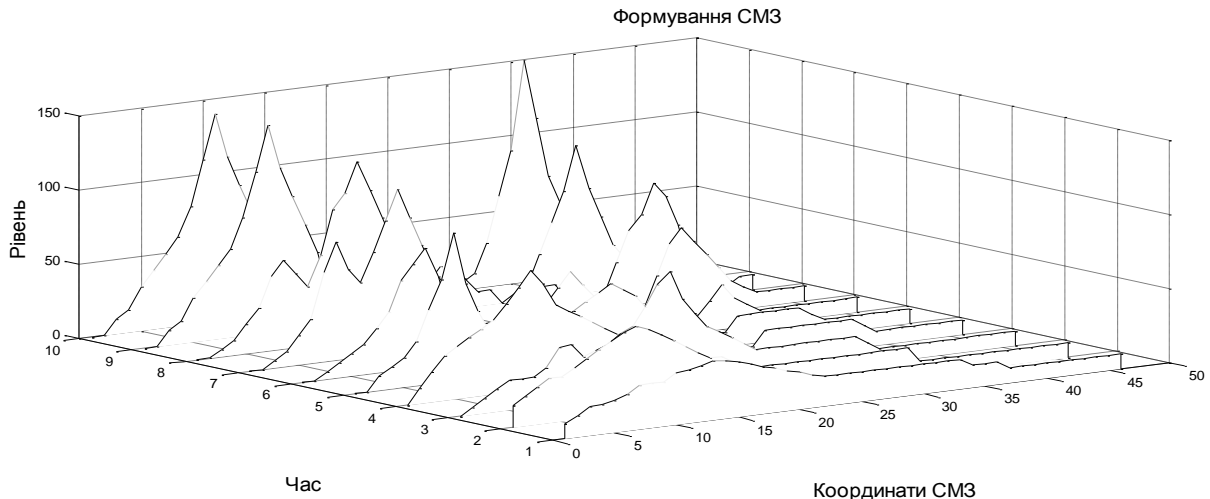


Рис. 2. Генерація аттракторних суб'єктних моделей знань

Представлена КММ розкриває співвідношення випадкового і детермінованого у формуванні наших знань та навиків і, зокрема, пояснює ефект званий долею. Ми випадково чимось зацікавилися, згенерували початкову СМЗ і подальше її поповнення, включаючи і автогенерацію по внутрішньому контуру в мозку, приводить до захоплення на все життя.

Тривалість формування СМЗ в АЧЕП може бути достатнє великою, у людини вона досягає декількох років, і після досягнення певного порогового рівня, вона закріплюється в ДП.

Прив'язка сигналів, що надходять, до векторного маркера, що створюється за рядом критеріїв, одним з яких є емоційна оцінка – дає елемент усвідомлення інформації, а вироблення суб'єктом адаптованого до нього маркера, виходячи з його індивідуальних емоційних навиків, визначуваних його фізичними можливостями, досвідом, соціальним і природним середовищем, забезпечує йому елементи індивідуальної самосвідомості. Подібне можливо для СШ при її взаємодії з навколишнім середовищем і її подібною системою, але зміненої (модифікованої) за будь-якими параметрами.

Поставивши маркер на вхідну інформацію суб'єкт, наприклад, вже може відповісти на філософське питання дитини у поета Маяковського: «Що таке добре і що таке погано?». І це буде суто індивідуальна відповідь, оскільки вона буде пов'язана з його індивідуальною реакцією. Більше того залежно від обставин, зовнішнього середовища, внутрішнього стану, більш глибокого (асоціативного) осмислення, емоційний вектор може змінитися і відповідь буде інша й іноді навіть протилежна попередньому. Яскравий цьому приклад поведінки описаної як «стокгольмський синдром».

Через ланцюги зворотного зв'язку з АЧЕП і ДП по сигналу з БАОД в реєстри КЕП надходять патерни СМЗ. Це обмежує ємність КЕП для вхідних даних і може заважати оперативному реагуванню на зміни в навколишньому середовищі. Цей чинник слід враховувати при аналізі роботи цілісної системи, що здійснює процедури розпізнавання вхідних даних, накопичення знань, прогнозування і вироблення рішень.

Щоразу при виклику патернів СМЗ БАОД знову її маркує, виробляючи ніби нове її усвідомлення, і заносить у відповідний кластер АЧЕП з новим векторним маркером. Таким чином, з накопиченням інформації в АЧЕП та ДП, ускладнюється СМЗ на основі кореляції більш простих моделей. Найбільш продуктивно це відбувається у вільний від обробки поточної інформації час. У людини таке динамічне формування СМЗ відбувається краще всього вночі протягом декількох годин.

Формування СМЗ з маркерною прив'язкою дозволяє її цілеспрямовано комбінувати з іншими СМЗ, обробляти їх і, зокрема, проводити з ними логічні операції, що можна розглядати, як осмислені дії.

У СШ обробку вхідних даних, які можна представляти у вигляді нечітких множин з привласненням ним маркерів, можливо проводити на основі КММ із застосуванням нейро-нечітких мереж [5, 31] і НТМ [27].

У ряді робіт [2, 23] показано, що інформація в асоціації легше запам'ятовується, наприклад, відомий метод розміщення Цицерона, зв'язуючий потрібне для запам'ятовування з послідовністю відомих об'єктів, і така асоціація дає значно більшу ймовірність вилучення потрібної інформації. Також, в [2] наводяться дані про те, що позитивні емоції дають велику ймовірність відновлення позитивної інформації і навпаки. Все це говорить на користь введення в КММ векторного маркера при оцінці даних.

Введення у КММ зв'язку між ДП та ПВП показує можливість перенесення в ПВП деякої важливої інформації про навички і відображає генетичний зв'язок поколінь. Так, зокрема, в дослідях на мухах

дрозофілах і мишах було показано, що у наступної генерації підвищена швидкість навчання навичок конкретної реакції на ситуацію, за наявності таких навичок у попередників [8, 32], і, з урахуванням принципу редукції, можна припустити подібне генетичне збереження інформації у людини.

У ранньому віці у людини, при малому обсязі знань, подібно до цього і для СШ на початку формування моделей знань, при оцінці вхідної інформації використовується пара базових емоцій Незадоволення–Задоволення, що зберігаються в ПВП, і реакція відбувається автоматично по імпліцитному шляху. Але надалі, в міру обробки даних, за допомогою АЧЕП формуються в пам'яті більш складні емоції і вироблення реакції в БПР може відбуватися усвідомлено по експліцитному шляху. Таким чином, суб'єктна модель рішення (СМР) – спочатку будуємо за одновимірним вектором: Незадоволення–Задоволення, а згодом, на основі свого суб'єктивного досвіду, формується багатокритеріальна база оцінок у вигляді багатовимірного емоційного вектора, що еквівалентно переходу від категорій логіки Аристотеля до категорій нечіткої логіки. Ці багатокритерійні оцінки слугують оцінками розузгодження між СМЗ, використовуваною для вироблення СМР і на її основі сигналу реагування та реакцією зовнішнього середовища. На підставі цих оцінок відбувається коректування СМЗ. Вироблення відкоректованої СМЗ можливе і за внутрішнім контуром системи шляхом надходження інформації в КЕП з АЧЕП і ДП.

Наведена система запам'ятовування дозволяє пояснити ефект дежавю, коли людині здається, що вона вже раніше бачила образ, який виникає перед нею. В [33] робиться припущення, що ефект дежавю виникає через часовий збій в роботі нашого мозку і в результаті нова інформація приймається за стару, оскільки вона запам'ятовується і витягується практично одночасно. Для розглянутої КММ можна припустити, що образ який надійшов у КЕП порівнюється в БАОД з патернами в ДП та АЧЕП і БАОД, виявивши, що такого патерну немає, формує в АЧЕП новий кластер. При цьому, з якихось причин (відволікання уваги, перешкода), не виробляється усвідомлення новизни інформації або неповне її маркування і, при надходженні через короткий час подібного образу, при порівнянні і усвідомленні інформації виявляється наявність в АЧЕП раніше занесеного в кластер патерну. А оскільки іншої, супутньої цьому образу, інформації в АЧЕП та ДП немає, то і виникає ефект дежавю. Подібне при збоях може відбуватися і в СШ, що адаптивно розпізнає образи.

У БПР відбувається перетворення множин СМН і СМЗ в множини СМР. Під час вступу вхідного сигналу, для вироблення рішення, БПР регулює два, що є у системи механізми реагування – автоматичний, на основі СМН імпліцитної пам'яті та складніший механізм усвідомленої обробки на основі СМЗ експліцитної пам'яті. При цьому готовий швидко відгукнутися на вхідний сигнал автоматичний механізм може бути заблокований, при деякій мірі невпевненості в рішенні на основі СМН по відношенню до вхідного стимулу, і буде включений значно триваліший механізм експліцитної обробки даних. В цьому випадку БПР через БАОД управлятиме процесом формування достовірнішої СМР доти, поки не буде з його позиції, адекватною СМР, після чого формується сигнал реагування.

Елементом усвідомлення при експліцитній обробці буде реакція мозку на запит про ненадходження автоматичної реакції на подразник, який пояснює, що треба почекати, оскільки по експліцитному шляху формується складніша СМР, вироблення якої на порядок довше за імпліцитної реакції.

Залежно від стану системи і даних, що надходять, за допомогою БПР, з множин всіх можливих СМН і СМЗ проводиться формування допустимої множини  $СМР_w$ , шляхом обробки кожного вектора  $СМР_j$  множини всіх вирішень СМР за допомогою адаптивної динамічної нелінійної вагової функції, що представляється у вигляді вектора  $W_a$ . Ваговий вектор  $W_a$  виробляється в БПР на підставі поточного стану суб'єкта і ресурсів, що є у нього, допустимого часу на реагування, горизонту планування та інших важливих чинників. В результаті поелементного перемножування всіх векторів  $СМР_j \subset СМР$  на вектор  $W_a$  для подальшого аналізу виходять вектори  $СМР_{wj}$ :

$$СМР_{wj} = W_a * СМР_j, \quad (4)$$

де \* – символ операції поелементного перемножування векторів.

$$СМР_{wj} \subset СМР_w. \quad (5)$$

З множини  $СМР_w$  операцією вибір Sel відбирається домінуюча множина рішень  $СМР_d$ , наприклад, оптимальна по Парето множина [34].

$$СМР_d = SelСМР_w. \quad (6)$$

Після цього з множини  $СМР_d$  проводиться, іноді, достатньо важкий вибір остаточного рішення як, наприклад, це робиться в [35] при вирішенні багатокритерійних завдань, а далі запускається механізм реагування.

Під час вступу вхідного сигналу, за яким на виході ЧЧФ відбувається перевищення порогу Збудження, в БПР формується стан підвищеної готовності системи. В цьому випадку, вимога до порогу достовірності СМР буде понижена і за рахунок зміни вагового вектора  $W_a$  сигнал реагування в БПР може бути вироблений швидше.

Накопичені в АЧЕП стійкі СМЗ фіксуються в ДП, при цьому у зв'язку з їх складністю вони вже носитимуть підсвідомий характер і не піддаються вербалізації [36]. Доступ до таких знань, на відміну від доступу до АЧЕП, достатньо швидкий [37], з причини їх зберігання в ДП. У [36] також передбачається, що для швидкого пошуку знань проводиться їх індексація.

У силу складності усвідомлення даних, що зберігаються в ДП і швидкості доступу до неї, в моделі пам'яті ДП віднесені до сховища імпліцитної пам'яті й таким чином відображено перехід від експліцитних даних у АЧЕП до імпліцитних, більш складних за структурою, що зберігаються в ДП. Таким чином, вхідна інформація по верхньому (рис.1) шляху проходить послідовний ланцюжок **Неусвідомленою – Усвідомленою – Підсвідомою**. На рисунку 3 представлена мережева модель послідовності перетворення вхідних патернів (ВП) інформації в СМР. Стрілка між СМЗ і СМН показує перехід експліцитних знань в імпліцитні навички.

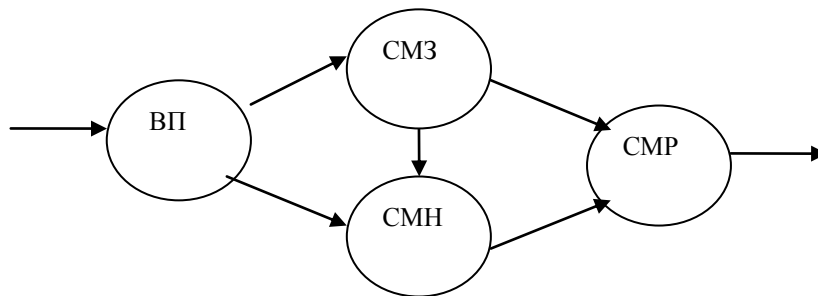


Рис. 3. Мережева модель послідовності перетворення вхідних патернів в СМР

Зі збільшенням обсягу пам'яті навчання БПР частіше спирається на наявний досвід і використовує вже готову СМР і, таким чином, не стимулює БАОД на вироблення високої за рівнем емоційної оцінки для інформації, яка знову надходить. Така поведінка БПР не сприяє новому навченню і відповідає висновкам зробленим в [7, 38] про те, що накопичений великий досвід заважає формуванню нових знань. Можливо це пов'язано з тим, що вже не достатньо ресурсів сукупності нервових клітин для генерації нових СМЗ.

У системах, які адекватно реагують на сигнали із зовнішнього середовища, при виробленні СМЗ використовуються підходи на основі трьох принципів: редукціонізм, емерджентність та інтелектуальний динамічний стохастичний аттрактор (ІДСА).

Вживаний принцип редукціонізму [8, 32, 39] дозволяє формувати СМЗ більш високого рівня на основі більш простих моделей, використовуючи їх функціональну подоби.

Емерджентність [32, 40], що виникає при формуванні складніших моделей знань призводить до їх нових неадитивних властивостей, і дозволяє виробляти неординарні знання.

Принцип ІДСА, поданий у [25] для створення робастних СШ з досить передбачуваною і дружньою поведінкою по відношенню до їх творця, містить метод проб і помилок (МПП)

[7] і універсальний принцип найменшої дії (ПНД) [41]. ПНД, в розглянутому випадку, націлений на мінімізацію комплексу витрат з підтримання робастного гомеостазу. При цьому ПНД відображає стаціонарність процесу, а МПП його динаміку. Принцип ІДСА закладено у генетичні коди людини і дозволяє уникати його виду сингулярності, що загрожує його знищенню, роблячи вид більш стійким до навколишнього соціального та природного середовища, що також корисно при побудові складних технічних систем. Якщо умова динамічного стохастичного аттрактора в об'єднанні складних технічних систем порушується, то відбувається

розбалансування такого об'єднання і воно розпадається. Усі три принципи корельовано в процедурі вироблення адаптивних СМР, що ускладнюються при навчанні. Редукціонізм відображає елементну базу системи. Емерджентність формування зв'язків, а ІДСА динамічну стійкість і мінливість елементів і зв'язків.

**Висновки.** Запропонована комплексна суб'єктно-орієнтована комп'ютерно-мозкова модель роботи пам'яті, навчання і ухвалення рішень, а також наведена інформація дозволяють удосконалити процедуру створення складних технічних систем, зокрема систем інтелектуального аналізу даних, включаючи суб'єктно-орієнтовані бази даних, і СШ, що працюють в умовах невизначеності, для яких важлива оперативність і ситуативна достовірність в ухваленні рішень. Ця модель, що враховує обмеження за ємністю КЕП і збільшений час розпізнавання та витягання нових знань з АЧЕП, порівняно з імпліцитною обробкою, може бути використана при аналізі процесів навчання людиною, використання пам'яті і ухвалення ним рішень та практичному використанні даних цього аналізу також може бути корисна при створенні моделі мозку людини.



## Список використаної літератури:

1. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко и др. – СПб. : БХВ–Петербург, 2004. – 336 с.
2. Андерсон Дж. Когнитивная психология / Дж. Андерсон. – СПб. : Питер, 2002. – 496 с.
3. Когнитивная психология : учебник для вузов / под ред. В.Н. Дружинина, Д.В. Ушакова. – М. : ПЕР СЭ, 2002. — 480 с.
4. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб. : БХВ–Петербург, 2005. – 416 с.
5. Хайкин С. Нейронные сети : полный курс ; пер. с англ. / С.Хайкин. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2006. — 1104 с.
6. Круг П.Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры : учеб. пособие по курсу «Микропроцессоры» / П.Г. Круг. – М. : Издательство МЭИ, 2002. – 176 с.
7. Minsky M. The Emotion Machine / Marvin Minsky. — N.Y. : Simon and Schuster, 2007. – P. 400.
8. Кандель Э.В. в поисках памяти / Э.В. Кандель. — М. : Астрель, 2012. — 736 с.
9. Локализация оппонентных механизмов принятия решений во фронтальной коре / Ю.Е. Шелепин, В.А. Фокин, А.К. Хараузов и др. // Пятая международная конференция по когнитивной науке : тезисы докладов (Калининград, Россия, 18–24 июня 2012 г.). — Т. 2. — С. 841–842.
10. Морошкина Н.В. Взаимодействие имплицитных и эксплицитных знаний в процессе научения: какое знание важнее? / Н.В. Морошкина, И.И. Иванчей // Пятая международная конференция по когнитивной науке : тезисы докладов (Калининград, Россия, 18–24 июня 2012 г.). — Т. 2. — С. 540–542.
11. Солсо Р. Когнитивная психология / Р.Солсо. — СПб. : Питер, 2006. — 589 с.
12. Аткинсон Р. Человеческая память и процесс обучения / Р.Аткинсон – М. : Прогресс, 1980. – 528 с.
13. Миллер Дж. Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых пределах нашей способности перерабатывать информацию / Дж.Миллер // Инженерная психология. — М. : Прогресс, 1964. — С. 564–581.
14. Simon H.A. How big is a chunk / H.A. Simon // Science. 1974. N 183 — P. 482–488.
15. Milner B. Memory and the medial temporal regions of the brain / B.Milner // Biology of memory. — N.Y. : Academic Press, 1970. — P. 29.
16. Logic R.H. The Seven Ages of Working Memory / Robert H. Logic // Working memory and human cognition — N. Y. : Oxford University Press, 1996. — P. 31–65.
17. Baddeley A.D. Working memory / A.D. Baddeley, G.J. Hitch // Recent advances in learning and motivation. — N.Y. : Academic Press, 1974. — Vol. 8. — P. 47–90.
18. Baddeley A.D. The episodic buffer: A new component of working memory? / A.D.Baddeley // Trends in Cognitive Sciences. — 2000. — Vol. 4. — P. 417–423.
19. Физиология человека. В 3-х т. – Т.1 ; пер. с англ. / под ред. Р.Шмидта, Г.Тевса. — М. : Мир, 2005. – 323 с.
20. Damasio A. Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain / Antonio R.Damasio. – N.Y. : Avon Books, 1994. — P. 312.
21. Bechara A. Decision Making and the Orbitofrontal Cortex / A.Bechara, H.Damasio, Antonio R.Damasio // Cereb. Cortex. — 2000. — Vol. 10, № 3. — Pp. 295–307.
22. Bechara A. Role of the Amygdala in Decision-Making / A.Bechara, H.Damasio, Antonio R. Damasio // Ann. New York Academy Sci. — 2003. — Vol. 985. — Pp. 356–369.
23. Kensinger E.A. Emotional memory across the adult lifespan / E.A. Kensinger // Psychology Press.Taylor & Francis Group. — N. Y., 2009. – P. 210.
24. Gross J.J. Emotion Regulation in Adulthood: Timing is Everything / J.J. Gross // Current Directions in Psychological Science. — 2001. — Vol. 10, № 6. — Pp. 214–219.
25. Козлов М.В. Штучні емоції в об'єднаннях штучних інтелектів/ М.В. Козлов // Вісник ЖДТУ/ Технічні науки. – 3(62). – 2012. – С. 99–106.
26. Mehrabian A. Incorporating Emotions and Personality in Artificial Intelligence Software / Albert Mehrabian [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kaaj.com/psych/ai.html>.
27. Hierarchical Temporal Memory including HTM Cortical Learning Algorithms, Version 0.2.1, September 12, 2011, © Numenta Inc. – 2011. – P. 68.
28. Фрейд З. Введение в психоанализ : лекции / З.Фрейд. – М. : Наука, 1991. – 456 с.
29. Carpenter G.A. Adaptive Resonance Theory / Gail A. Carpenter, Stephen Grossberg // The handbook of brain theory and neural networks. Ed. Michael A. Arbib. — Massachusetts Institute of Technology, 2003. — P. 87–90.

30. Козлов М.В. Спосіб формування пам'яті у системах штучного інтелекту / М.В. Козлов // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2(61). – 2012. – С. 154–158.
31. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень : навч. посібник / С.О. Субботін. — Запоріжжя : ЗНТУ, 2008. – 341 с.
32. Dudai Y. Memory From A to Z. Keywords, Concepts, and Beyond / Y. Dudai. – N.Y. : Oxford University Press, 2002. – P. 331.
33. Besson G. L'evaluation des processus de la memoire de reconnaissance / G. Besson, M. Ceccaldi, E. J. Barbeau // Revue de neuropsychologie. — 2012. — Vol. 4, № 4. — P. – 242–254.
34. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный поход / В.Д. Ногин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 144 с.
35. Козлов М.В. Пошук оптимальних вирішень багатокритерійних завдань / М.В. Козлов // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2011. – № 4(59). – С. 59–65.
36. Kihlstrom J. The Cognitive Unconscious / J. Kihlstrom // Science. – 1987. – V. 237. – P. 1445–1452.
37. Ericsson K.A. Expert and exceptional performance: Evidence of maximum adaptation on task constraints / K.A. Ericsson, A.C. Lehmann // Annu. Rev. Psychol. – 1996. – № 47. – P. 273–305.
38. Clarke A.C. Profiles of the Future / Artur C. Clarke. – London : Pan, 1978. – P. 235.
39. Simon H.A. The human mind: The symbolic level / H.A. Simon // Proc. of the American Philosophical Society. – 1993. – V. 137(4). — P. 638–647.
40. Weinstock M. The Architecture of Emergence – the evolution of form in Nature and Civilisation / Michael Weinstock – N.Y. : John Wiley and Sons, 2010. – P. 280.
41. Фейман Р. Феймановские лекции по физике. Т. 6 : Электродинамика / Р. Фейман, Р. Лейтон, М. Сэндс. — М. : УРСС, 2004. — С. 352.

КОЗЛОВ Михайло Венедиктович – кандидат технічних наук, доцент кафедри управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету (2002–2012 рр.).

Наукові інтереси:

- методи прийняття рішень;
- інтелектуальний аналіз даних;
- системи штучного інтелекту.

E-mail: [mike21k@rambler.ru](mailto:mike21k@rambler.ru)

Стаття надійшла до редакції 23.05.2013

**Козлов М.В.** Комп'ютерно-мозкова модель пам'яті і прийняття рішень для складних систем  
**Козлов М.В.** Компьютерно-мозговая модель памяти и принятия решений для сложных систем  
**Kozlov M.V.** Computer - brain memory model and decision-making for complex systems

УДК 681.32

Компьютерно-мозговая модель памяти и принятия решений для сложных систем / М.В. Козлов

В статье на основе анализа механизмов работы памяти и принятия решений человеком рассматривается субъектно-ориентированная комплексная компьютерно-мозговая модель работы памяти, научения и процедуры выработки решений и целесообразность использования такой модели при создании сложных технических систем, в том числе, интеллектуальных систем анализа данных и систем с искусственным интеллектом, работающих в условиях неопределенности, и для которых важна оперативность и ситуативная достоверность в принятии решений.

УДК 681.32

Computer - brain memory model and decision-making for complex systems / M.V. Kozlov

In this article, based on the analysis of the mechanisms of memory and decision-making of man is considered a subject-oriented integrated computer-brain model of memory, learning and decision-making procedures and the feasibility of using such model to create complex technical systems, including data mining systems and systems with artificial intelligence, operating under conditions of uncertainty and for which is important efficiency and situational reliability decision-making.