УДК 621.3

О.М. РІЗНИК*

КОНЦЕПЦІЯ ВІДКРИТОЇ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

Анотація. Запропоновано концепцію відкритої динамічної системи як загальної моделі розвитку систем та процесів будь-якої природи, засновану на новій інтерпретації теореми М. Месаровича про декомпозицію Універсуму та поняття спостереження як асиметричного відношення, що відповідає переміщенню елементів базису множини станів динамічної системи між її зовнішнім та внутрішнім простором. Елемент базису, за концепцією геометродинаміки, існує як вихор у викривленому внутрішньому просторі динамічної системи або як елементарна частка, що при спостереженні передає квант енергії. Відкриту динамічну систему визначено як скінченну динамічну систему, що обмінюється спостереженнями зі своїм оточенням, яке поділяється на локальне і є інверсною динамічною системою, та зовнішнє, звідки надходять зовнішні спостереження. У проміжках між зовнішніми спостереженнями вона існує як консервативна динамічна система. Розглянуто еволюцію динамічних систем протягом охолодження та розширення Всесвіту: появу елементарних часток та атомів, утворення складних хімічних молекул та ланцюгових макромолекул, появу життя, розвиток багатоклітинних організмів, нервової системи та мозку, появу людини та її інтелекту, формування суспільства й розвиток цивілізації. Показано, що при появі життя відкриті динамічні системи стали розподіленими і взяли на себе функцію природного добору членів популяцій, а з появою інтелекту та формуванням суспільства стали віртуальними і реалізують розподілений суспільний інтелект. Розглянуто загрози втрати контролю над віртуальними системами, зокрема, цифровими засобами штучного інтелекту, що можуть нехтувати дискретністю простору-часу через застосування при їх проектуванні класичної моделі безкінечно малих, якої не існує через дискретність простору-часу. Несумісність класичної моделі з дискретною моделлю відкритої динамічної системи становить актуальну наукову проблему, що потребує подальшого вивчення.

Ключові слова: динамічна система, спостереження, еволюція, розвиток, життя, нервова система, мозок, інтелект, віртуальна система.

Аннотация. Предложена концепция открытой динамической системы как общей модели развития систем и процессов различной природы, основанная на новой интерпретации теоремы М. Месаровича о декомпозиции Универсума и понятии наблюдения как асимметричного отношения, отвечающего перемещению элементов базиса множества состояний динамической системы между ее внешним и внутренним пространством. Элемент базиса, согласно концепции геометродинамики, существует как вихрь в пустом искривленном внутреннем пространстве динамической системы либо как элементарная частица, переносящая при наблюдении квант энергии. Открытая динамическая система определена как конечная динамическая система, обменивающаяся наблюдениями с окружением, разделенным на локальное, представляющее инверсную динамическую систему, и внешнее, откуда поступают внешние наблюдения. В промежутках между внешними наблюдениями она существует как консервативная динамическая система. Приведен обзор эволюции динамических систем в процессе расширения и охлаждения Вселенной: появления элементарных частиц и атомов, образования сложных молекул и цепных макромолекул, появления живых клеток, формирования многоклеточных организмов, нервной системы и мозга, появления человека и его интеллекта, развития общества и цивилизации. С появлением жизни открытые динамические системы стали распределенными и выполняют функции природного отбора членов популяции, а после появления интеллекта и образования общества они реализуют общественный интеллект и становятся виртуальными. Рассмотрены угрозы неконтролируемого поведения вир-

туальних систем, в частности, цифрових систем штучного інтелекту, які можуть нехтувати дискретністю простору-часу через використання при їх проектуванні класичної моделі нескінченно малих, яких не існує через дискретність простору-часу. Несумісність класичної моделі з дискретною моделлю відкритої динамічної системи є актуальною науковою проблемою, що потребує подальшого вивчення.

Ключевые слова: динамічна система, спостереження, еволюція, розвиток, життя, нервова система, мозок, інтелект, віртуальна система.

Abstract. The concept of an open dynamical system as a general model of the development of systems and processes of various nature is proposed. It is based on a new interpretation of M. Mesarovich's theorem on the decomposition of the Universum, and the concept of observation as an asymmetric relation corresponding to the movement of basis elements of a set of states of a dynamical system between its external and internal space. The element of the basis, according to the concept of geometrodynamics, exists as a vortex in an empty curved internal space of a dynamical system, or as an elementary particle that transfers a quantum of energy when observed. An open dynamical system is defined as a finite dynamical system exchanging observations with the environment, divided into local, representing an inverse dynamical system, and external, where external observations come from. In the intervals between external observations, it exists as a conservative dynamical system. It is regarded the evolution of dynamic systems in the process of expansion and cooling of the Universe: the appearance of elementary particles and atoms, the formation of complex molecules and chain macromolecules, the appearance of living cells, the formation of multicellular organisms, the nervous system and the brain, the appearance of a human and the intellect, the development of society and civilization. With the emergence of life, open dynamic systems became distributed and perform the functions of natural selection of members of the population, and after the appearance of intelligence and the formation of society, they realize social intelligence and become virtual. Threats of uncontrolled behavior of virtual systems, in particular digital artificial intelligence systems, which can neglect the discreteness of space-time due to the use in their design of the classical model of infinitesimal, which do not exist due to the discreteness of space-time, are considered. The incompatibility of the classical model with the discrete model of an open dynamic system is an urgent scientific problem that requires further study.

Keywords: dynamic system, observation, evolution, development, life, nervous system, brain, intelligence, virtual system.

DOI: 10.34121/1028-9763-2020-3-3-22

“Отправной точкой процесса создания любых моделей являются наблюдения и предположение о существовании взаимосвязи между ними. Первичное понятие системы следовало бы определять, опираясь как раз на подобные данные”

(Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978. С. 293)

1. Вступ

Відкриті динамічні системи (ВДС) – це системи, які постійно взаємодіють із своїм оточенням, обмінюючись із ним речовиною, енергією або інформацією. Всі спостережувані динамічні системи є відкритими, оскільки спостереження – це обмін інформацією. За певних умов вони можуть досягати рухомої рівноваги, зберігаючи стабільну структуру при змінах оточення, а їхня поведінка набуває ознак самоорганізації. Засновник теорії систем Л. Фон Берталанфі вважав, що теорія відкритих систем має стати узагальненням фізичної теорії, кінетики та термодинаміки [1]. Такий погляд на перспективи розвитку теорії систем дістав продовження в кібернетиці Н. Вінера, яка вивчає моделі управління в технічних, біологічних та соціальних системах [2, 3]. Одночасно продовжувалась розробка математичної загальної теорії систем, що мала забезпечити формальний апарат для міждисциплінарних системних досліджень [4, 5]. Стрімкий розвиток цих досліджень дав початок сучасній науково-технічній революції, інформатизації та комп'ютеризації всіх сфер люд-

ського життя. Одержані за понад півстоліття науково-технічні досягнення безпрецедентно розширили можливості людства, але порушили традиційні обмеження, які підтримували стабільність та прогнозованість розвитку суспільства і його інститутів.

Наслідки цих порушень найбільш очевидні у сфері екології. Довкілля вже не витримує навантаження цивілізації. Природні та технологічні катастрофи, економічна нестабільність і збройні конфлікти становлять зростаючу загрозу подальшому існуванню нашої цивілізації. Щоб уникнути катастрофи, ми маємо усвідомити свою залежність від довкілля, представити цивілізацію як відкриту динамічну систему і відповідно планувати її розвиток.

Проблема контролю відкритої динамічної системи полягає у її залежності від невідомого стану оточення, що виключає можливість адекватного моделювання її поведінки. Сучасна загальна теорія систем оминає вирішення цієї проблеми, спираючись на концепцію відкритого зовнішнього світу, за якою поведінка динамічної системи не залежить від стану її оточення. Ця концепція фактично заперечує існування ВДС, але її введення здавалось виправданим, оскільки в переважній більшості прикладів вплив оточення на поведінку динамічних систем не був значним. Нехтування цим впливом не приводило до серйозних наслідків, але істотно спрощувало апарат теорії систем та методи її практичного використання. Це сприяло створенню методології системного підходу до міждисциплінарних досліджень [6, 7], поширення якого прискорило темпи науково-технічного прогресу й привело до формування нових наукових напрямів, пов'язаних із використанням ВДС, таких як адаптивне управління, нелінійна динаміка, системи штучного інтелекту. Це загострило проблему відсутності теорії ВДС, вирішення якої потребувало перегляду основ загальної теорії систем. Недоліки цієї теорії визнавали і самі її автори, яким належить фраза, обрана епіграфом до нашої роботи. Пропонований у ній перегляд первинного поняття системи досі не реалізовано. Важливий крок у цьому напрямі зроблено М. Месаровичем у роботі [4], яка містить доведення фундаментальної теореми декомпозиції Універсуму у вигляді послідовності спостережень множини абстрактних об'єктів і дозволяє ввести асиметрію напрямку часу у визначення загальної динамічної системи та застосувати базове поняття спостереження для розробки моделі ВДС, вільної від умов концепції відкритого зовнішнього світу.

Метою статті є розробка загальної концепції ВДС, які обмінюються спостереженнями зі своїм оточенням, формують власну модель зовнішнього світу і керують своєю поведінкою. Стаття включає 11 розділів, з яких перші три містять аналіз існуючого визначення динамічної системи, парадокс «стріли часу» К Поппера та визначення поняття відкритої динамічної системи. Розділи 4–5 містять нову інтерпретацію теореми декомпозиції Універсуму М. Месаровича, за якою відкрита динамічна система розглядається як загальна модель розвитку процесів у чотиривимірному просторі-часі, що дозволило застосувати концепцію геометродинаміки Уілера-Мізеса для визначення елементів базису множини станів динамічної системи як елементарних матеріальних часток. У розділі 6 розглядається формування механізмів обміну спостереженнями та утворення атомів і молекул на етапі атомної еволюції Всесвіту. Розділи 7–10 містять огляд наступних етапів еволюції Всесвіту. В розділі 7 пояснюються причини обмеження етапу хімічної еволюції динамічних систем поверхнею планет із щільною атмосферою. Розділ 8 присвячений появі життя, утворенню багатоклітинних організмів та формуванню нервової системи. В розділі 9 розглянуто формування мозку як ієрархічної розподіленої відкритої динамічної системи, елементи якої є нервові клітини, об'єднані мережею зв'язків, що реалізують пам'ять. Розділ 10 містить аналіз розвитку суспільства, утворення віртуальної динамічної системи, що реалізує розподілений інтелект суспільства, а також формування віртуального світу, в якому розвиваються віртуальні динамічні системи – продукти інтелектуальної діяльності членів суспільства. Поява серед них систем штучного інтелекту може означати початок чергового етапу

еволюції – перехід від біологічної форми ВДС до небіологічної – штучного інтелекту. Відзначено загрозу деградації суспільного інтелекту при домінуванні штучного інтелекту в віртуальному світі. У висновках стисло представлено основні результати та висновки виконаного дослідження.

2. Динамічна система та концепція відкритого зовнішнього світу

Найбільш загальне визначення системи базується на представленні Універсуму як множини абстрактних об'єктів, на якій системі $\mathfrak{R}$ відповідає відношення [5]:

$$\mathfrak{R} \subset \times\{V_i : i \in I\}, \quad (1)$$

де $\times$ – символ декартова добутку, V_i – множина об'єктів, I – зчислена множина індексів:

$$I = I_x \cup I_y, \quad I_x \cap I_y = \emptyset.$$

Множини $X = \times\{V_i : i \in I_x\}$ та $Y = \times\{V_i : i \in I_y\}$ представляють, відповідно, об'єкти входу та виходу системи. У випадку динамічної системи, заданої на множині моментів часу $t \in T$, застосовують поняття часових об'єктів $X_t \in \Xi^T$ та $Y_t \in H^T$, що представляють поточні значення елементів її входу та виходу. Динамічну систему визначає відношення

$$\mathfrak{R} \subset \times\{X_t, Y_t : t \in T\}. \quad (2)$$

Її функціональне представлення включає два рівняння: вхід/вихід та стан:

$$Y_t = F(X_t, S_t), \quad (3)$$

$$S_t = \Phi(S_{t-\tau}, X_{t-\tau}'). \quad (4)$$

Величина $X_{t-\tau}' \in R^n \times T$ є послідовністю значень входу X_t на проміжку часу $(t-\tau, t]$. Областю визначення функції $F(\cdot)$ є множини значень входу $X_t \in \Xi$ та стану $S_t \in \Sigma$, а областю значень – множина значень виходу $Y_t \in H$. Для функції $\Phi(\cdot)$ область визначення відповідає добутку $\Sigma \times \Xi \times T$, а область значень – множині внутрішніх станів $S_t \in \Sigma$, потужність якої $|\Sigma|$ характеризує рівень складності динамічної системи.

Якщо залежність S_t від часу t є безперервною, рівняння стану (4) представляють як

$$\partial S / \partial t = \Psi(S, X_t). \quad (5)$$

Для скінченної динамічної системи, стан якої змінюється в дискретні моменти часу, це рівняння має вигляд

$$S_t = \Phi(S_{t-1}, X_t). \quad (6)$$

На рис. 1 зображено динамічну систему в зовнішньому оточенні, яке представляє інверсну динамічну систему, що відповідає оберненим рівнянням (3–4) і для якої напрямок часу та причинно-наслідкових відношень є протилежним реальному. В такому оточенні динамічна система має існувати поза часом як недоступна для зовнішнього спостереження консервативна динамічна система.

Реальне зовнішнє оточення існує в часі динамічної системи, яка має коригувати свій стан для узгодження одержаних значень входу та виходу з рішеннями обернених рівнянь (3–4), що представляють інверсну динамічну систему оточення. Коректне вирішення цієї

Рисунок 1 – Динамічна система та її оточення

задачі неможливе через невизначеність стану зовнішнього оточення. Тому для вирішення прикладних задач керування динамічними системами застосовують наближені стохастичні моделі динаміки, зокрема, методи Ляпунова, що дозволяють оцінювати стійкість поведінки відкритих динамічних систем [8].

Інший підхід до вирішення

проблеми невизначеності стану зовнішнього оточення, прийнятий при створенні загальної теорії систем, базується на концепції відкритого зовнішнього світу, яка стверджує незалежність поведінки динамічної системи від стану її оточення. Прийняття цієї концепції виправдовувалось тим, що в переважній більшості прикладів вплив оточення на поведінку динамічних систем був незначним. Нехтування цим впливом не загрожувало серйозними наслідками, але значно спрощувало рішення прикладних задач теорії динамічних систем.

3. Парадокс «стріли часу» та відкриті динамічні системи (ВДС)

Концепція відкритого зовнішнього світу фактично заперечувала існування ВДС, не визнавала причинно-наслідкових відношень, що визначають їх поведінку, та стверджувала інваріантність законів фізики до напрямку часу. Її прийняття викликало реакцію відомого філософа К. Поппера, який запропонував парадокс «стріли часу» [9], в якому доводилось, що з інваріантності фізичних законів до напрямку часу впливає існування оберненого часу, що суперечить практичному досвіду. Його публікація в 1956 р. викликала потужну хвилю філософських та загальнонаукових дискусій, які тривають і досі [10, 11]. Виявлена в цих дискусіях увага до обернення часу мала більше емоційний, ніж принциповий характер, тому проблема існування відкритих динамічних систем залишилась поза увагою її учасників.

Повертаючись до неї, представимо поведінку відкритої динамічної системи як послідовність переміщень дискретних порцій речовини, енергії або інформації, назвемо їх спостереженнями між динамічною системою та її оточенням. Останні виступають як об'єкт – ініціатор або як суб'єкт – одержувач спостереження. Введемо формальне визначення ВДС.

Відкрита динамічна система (ВДС) – скінченна динамічна система, що обмінюється спостереженнями з оточенням, яке поділяється на локальне і містить партнерів її внутрішніх спостережень, та зовнішнє, до якого належить множина незалежних від неї об'єктів зовнішніх спостережень. У проміжках між обмінами зовнішніми спостереженнями ВДС представляє консервативну динамічну систему у складі скінченної динамічної системи та її локального оточення, які знаходяться у стані динамічного атрактора – циклічного обміну внутрішніми спостереженнями. Локальне оточення представляє інверсну динамічну систему, яка відрізняється оберненим напрямком часу та причинно-наслідкових відношень.

Спостереження – асиметричне бінарне відношення, що представляє взаємодію двох динамічних систем, одна з яких виступає як ініціатор спостереження – об'єкт, а інша – як його одержувач – суб'єкт. Напрямок від об'єкта до суб'єкта спостереження відповідає напрямку часу. Результатом спостереження є зміна стану обох учасників. Ці зміни при внутрішніх спостереженнях є прихованими.

Стан динамічної системи – те і лише те, що в ній змінюється при спостереженні. При внутрішніх спостереженнях ці зміни є прихованими і представляють динамічні атрактори консервативної системи, що можуть змінюватись при зовнішніх спостереженнях.

Структура ВДС відповідає моделі «чорної скриньки», вхід якої виступає як суб'єкт зовнішнього спостереження, а вихід – як його об'єкт. Послідовність змін стану ВДС визначає напрямок її часу. Виступаючи як суб'єкт, ВДС очікує зовнішнє спостереження, а отримавши його, переходить із стану атрактора в режим конвергенції – пошуку нового атрактора, що має задовольняти умовам одержаного зовнішнього спостереження. В режимі конвергенції ВДС, виступаючи як об'єкт, ініціює зовнішнє спостереження у відповідь і переходить у наступний стан атрактора як суб'єкт. Обмін спостереженнями представляє дискретний процес. Послідовності спостережень та станів динамічної системи є лінійно упорядкованими відповідно до напрямку часу. Множина значень її стану $s \in \Sigma$ є скінченною.

Поведінку ВДС при зовнішньому спостереженні представимо співвідношенням

$$\xi_t \Rightarrow [s_t \rightarrow s_{t^+}] \Rightarrow \xi_{t^+}^* \Rightarrow [s_{t^+} \rightarrow s_{t+1}], \quad (7)$$

де $t < t^+ < t+1 \in T$ – лінійно упорядкована послідовність моментів часу;

$\xi_t \in \Xi$ – спостереження, одержане суб'єктом у момент t ;

$s_t \in \Sigma$ – стан динамічної системи в момент t ;

$\xi_{t^+}^* \in \Xi^*$ – спостереження, ініційоване об'єктом у відповідь на ξ_t .

Зовнішнє спостереження ξ_t , одержане суб'єктом у момент t , що переводить ВДС у нестійкий стан s_{t^+} , порушує стан атрактора консервативної динамічної системи, яка переходить у режим конвергенції. В цьому режимі ВДС виступає як об'єкт, ініціює у відповідь зовнішнє спостереження $\xi_{t^+}^*$ та переходить у наступний стан s_{t+1} як суб'єкт. Одержані та ініційовані ВДС зовнішні спостереження утворюють дискретну лінійну послідовність:

$$\{\xi_t, \xi_{t^+}^*, \xi_{t+1}, \xi_{(t+1)^+}^* \dots\}_{(t < t^+ < t+1) \in T}, \quad (8)$$

яка індукує послідовність її станів $\{s_t\}_{t \leq t < t+1}$. Ця послідовність може включати повернення ВДС в попередній стан, тобто утворення циклів станів.

На рис. 2 зображено консервативну динамічну систему, яка обмінюється внутрішніми спостереженнями з локальним оточенням. Обоє партнерів представлено як «чорні скриньки», входами яких є суб'єкти, а виходами – об'єкти спостережень.

Рисунок 2 – Структура консервативної динамічної системи

Повертаючись до парадоксу «стріли часу», відзначимо, що інваріантні до напрямку часу закони фізики, згадані К. Поппером, представляють концепцію відкритого зовнішнього світу, за якою існують лише консервативні динамічні системи, поведінка яких не залежить від стану оточення. Консервативна система існує як пара взаємоінверсних динамічних систем, що відрізняються за напрямком внутрішнього часу і обмінюються спостереженнями. Це підтверджує тезу про існування оберненого часу. Але консервативні

динамічні системи недоступні для спостереження, тому експериментально підтвердити або спростувати тезу про існування оберненого часу неможливо.

4. Теорема М. Месаровича. Структура простору-часу ВДС

Альтернативне до прийнятого в загальній теорії систем визначення динамічної системи було запропоноване М. Месаровичем у роботі [4], у вигляді фундаментальної теореми декомпозиції Універсуму, за якою будь-яке N -місне відношення, задане на множині абстрактних об'єктів Універсуму, можна представити послідовністю з $N-2$ тримісних відношень, які описують структуру динамічної системи:

$$\{V_n, V_{n+1}, S_{n-1}\}, n \in N, \quad (9)$$

де V_n та V_{n+1} – поточний та наступний елементи послідовності абстрактних об'єктів, які визначають вхід та вихід динамічної системи, а S_{n-1} – значення її попереднього стану. Таке визначення загальної динамічної системи дозволяє відділити поняття часу як послідовності моментів спостереження від простору, як множини значень спостережуваних об'єктів. Для спрощення інтерпретації поведінки загальної динамічної системи будемо вважати, що кількість абстрактних об'єктів Універсуму N набагато перевищує довжину послідовності спостережень T ($t \leq T$, $T \ll N$).

Співвідношення (9) визначає відкриту динамічну систему, що виступає як суб'єкт спостереження і має структуру «чорної скриньки», вхід та вихід якої є доступними для спостереження, а внутрішній стан – прихованим. При кожному спостереженні ВДС змінює свій стан і визначає наступний об'єкт послідовності спостережень.

Простір-час ВДС поділяється на внутрішній, що містить множину одержаних нею спостережень, та зовнішній, якому належить решта спостережуваних об'єктів Універсуму. Одержання спостереження та зміна стану ВДС $S_{t-1} \rightarrow S_t$ відповідає переміщенню об'єктів спостережень із зовнішнього до внутрішнього простору, в якому формується локальне оточення скінченної динамічної системи – інверсної до неї динамічної системи. У проміжках між одержанням зовнішніх спостережень скінченна динамічна система та локальне оточення існують як консервативна динамічна система, обмінюються внутрішніми спостереженнями. Цей обмін порушується при одержанні зовнішнього спостереження, яке переводить цю систему в режим конвергенції.

Щоб представити процес обміну внутрішніми та зовнішніми спостереженнями, введемо поняття базисної множини загальної динамічної системи як мінімальної множини елементів $\omega \in \Omega$, підмножини якої Ω_{S_t} відповідають поточним значенням її стану $S_t \in \Sigma$.

Доповнення цих підмножин $\omega^* \in \Omega^*$ визначає базис множини станів інверсної динамічної системи оточення Σ^* . Вважатимемо, що при нетривіальній послідовності спостережень ($T \ll N$) виконується співвідношення $\Sigma \approx \Sigma^*$.

Зміни стану реальної ВДС при обміні зовнішніми спостереженнями супроводжуються оновленням базису консервативної системи – одержанням та переміщеннями елементів базису між внутрішнім та зовнішнім її простором. Межу між ними спершу долають елементи базису оточення $\omega^* \in \Omega^*$, надіслані зовнішнім об'єктом, а потім, у зворотному напрямку, – елементи базису ВДС ω , яка, як об'єкт, ініціює реакцію на одержане спостереження:

$$\omega^* : \Omega_{S_t}^* \rightarrow \Omega_{S_t} \Rightarrow \omega : \Omega_{S_t} \rightarrow \Omega_{S_{t+1}} \Rightarrow \omega^* : \Omega_{S_{t+1}} \rightarrow \Omega_{S_{t+1}}^*. \quad (11)$$

Рисунок 3 – Загальна схема обміну внутрішніми та зовнішніми спостереженнями

Рисунок 4 – Конструкція шарикопідшипника Леонардо да Вінчі

При внутрішніх спостереженнях елементи базису консервативної системи рухаються по замкнених траєкторіях. Перетинаючи межу між скінченною динамічною системою та її локальним оточенням, вони забезпечують узгодження напрямків часу системи та її оточення. Елементи базису нагадують кульки шарикопідшипника, які розділяють поверхні валу та корпусу, що рухаються у протилежному напрямку. Представлене на рис. 4 зображення шарикопідшипника, знайдене серед рисунків Леонардо да Вінчі, демонструє практичне вирішення проблеми узгодження протилежних напрямків руху у просторі.

5. Природа елементів базису ВДС

Універсум представляє множину абстрактних об'єктів зовнішнього оточення, які ВДС послідовно переміщуює у свій внутрішній простір. Кожне спостереження представляє набір елементів базису, які перетинають межу між її зовнішнім та внутрішнім простором. У проміжках між зовнішніми спостереженнями ВДС представляє консервативну динамічну систему – пару із скінченної динамічної системи та її локального оточення, що обмінюються внутрішніми спостереженнями. При внутрішніх спостереженнях елементи базису, одержані ВДС раніше, рухаються по замкнених траєкторіях у внутрішньому просторі консервативної системи, перетинаючи межу між скінченною системою та локальним оточенням. Розглядаючи замкненість цих траєкторій як викривлення внутрішнього простору-часу консервативної динамічної системи, ми можемо застосувати до нього модель чотиривимірного простору Г. Мінковського, прийняту у спеціальній теорії відносності А. Ейнштейна для пояснення результатів експериментів Майкельсона-Морлі, які в 1887 р. виявили, що швидкість світла не залежить від швидкості та напрямку руху його джерела [12, 13].

Простір Мінковського є псевдоевклідовим, у якому відстань між партнерами спостережень (яку долають елементи базису динамічної системи) визначає співвідношення

$$\Delta_R = \sqrt{c^2(\Delta t)^2 - |\vec{\Delta R}|^2}, \quad (15)$$

де c – постійна швидкості світла;

$|\vec{\Delta R}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$ – відстань між партнерами в евклідовому просторі;

$\Delta x = x_s - x_{s^*}$, $\Delta y = y_s - y_{s^*}$, $\Delta z = z_s - z_{s^*}$ – ортогональні складові евклідової відстані $|\vec{\Delta R}|$.

При переході елементів базису з зовнішнього до внутрішнього простору динамічної системи напрямок їх переміщення відповідає послідовності спостережень, а при виході із внутрішнього простору – змінюється на протилежний. Така зміна напрямку руху відповідає оберненню напрямку часу для елементів базису, які перетинають межу між зовнішнім та внутрішнім простором ВДС.

Взаємодії між складовими ВДС можна представити схемою, зображеною на рис. 3.

Якщо партнери спостереження рухаються з відносною швидкістю $|\vec{v}| \leq c$, то відстань між ними залежить від часу: $\Delta \vec{R} = \Delta \vec{R}_0 + \vec{v} \Delta t$. Така залежність приводить до скорочення чотиривимірної відстані, яку визначає формула Лоренца:

$$\Delta_v = \Delta_R \sqrt{1 - |\vec{v}|^2 / c^2}. \quad (16)$$

При наближенні відносної швидкості руху до швидкості світла чотиривимірні відстані між ними скорочуються до нуля. Елементи базису, що рухаються зі швидкістю світла по замкнених траєкторіях у внутрішньому чотиривимірному просторі динамічної системи, є нерухомими у тривимірному просторі, оскільки на кожному оберті вони повертаються в ті самі точки внутрішнього простору.

Чотиривимірний внутрішній простір реальної консервативної динамічної системи, в якому відбувається обмін внутрішніми спостереженнями, є набагато складнішим за простір Г. Мінковського. Урахування замкненості траєкторій елементів базису потребує застосування криволінійної моделі чотиривимірного простору, для якої складові вектора Δ_R не є ортогональними. Внаслідок цього у правій частині рівняння (15) з'являються додаткові члени – похідні залежності між компонентами Δ_R , які відповідають значенням відносної швидкості та прискоренню криволінійного руху елементів базису. Самі елементи базису при цьому можна представити як локальні викривлення пусого простору або як вихорі, що можуть переміщуватись у просторі як матеріальні частки зі швидкістю $|\vec{v}| \leq C$. Переміщення таких вихорів має створювати зовнішнє поле, що представляє сили електромагнітної індукції, описувані рівняннями Максвелла-Лоренца, або сили гравітації [14, 15].

Така природа матеріальних часток відповідає концепції геометродинаміки Уілера – Мізеса, що представляє геометричну інтерпретацію об'єктів та явищ мікросвіту, таких як заряд, електромагнетизм, гравітація, концентрація маси-енергії [16, 17]. Ця концепція дозволяє представити елементи базису як об'єкти планківських розмірів (10^{-33} м), для яких звичні поняття простору та часу втрачають сенс. Протягом еволюції Всесвіту з них поступово утворились електрони, атоми, молекули та макрооб'єкти неживої природи, на деяких з яких згодом виникло життя, багатоклітинні організми, з'явилися людина та її інтелект, розвилася сучасна цивілізація.

Елементарною консервативною динамічною системою, здатною існувати без обміну спостереженнями з зовнішнім світом, можна вважати диполь – елемент базису, що рухається по замкненій траєкторії, протилежні гілки якої представляють взаємоінверсні динамічні системи, відмінні за напрямком руху, що виступають партнерами внутрішніх спостережень.

Частота обертів (змін напрямку руху) елемента базису визначає потенційну енергію диполя, яка при спостереженні переходить у кінетичну енергію променя – хвильового пакета, що переносить цю енергію зі швидкістю світла від об'єкта до суб'єкта спостереження.

Диполь представляє найпростішу консервативну динамічну систему, яка відповідає фотону – безмасовій нейтральній елементарній частці, яка переносить зі швидкістю світла дискретну порцію енергії – квант, величину якої визначає формула Планка:

$$E = h\nu, \quad (17)$$

де ν – частота фотона;
 h – постійна Планка.

Розглядаючи ν як частоту обертів елемента базису, що рухається зі швидкістю світла по круговій орбіті, представимо залежність між енергією диполя та радіусом орбіти r :

$$E_{dip} = h\nu_{dip}, \quad \nu_{dip} = c/2\pi r. \quad (18)$$

Величина r^{-1} визначає локальне викривлення внутрішнього простору диполя. Це дає підстави уявляти квант енергії E_{dip} як вихор, енергія якого визначає локальне викривлення простору, яке динамічна система одержує, або відсилає при обміні спостереженнями. Квант може існувати як промінь – хвильовий пакет, що переносить енергію елемента базису від об'єкта до суб'єкта спостереження, або як складова матеріальної частки, маса якої створює локальне викривлення простору, необхідне для утримання на внутрішній орбіті елемента базису. Рухаючись по цій орбіті, елемент базису створює фізичне поле – електродинамічне, ядерне або гравітаційне, залежно від геометричних властивостей внутрішнього простору матеріальної частки. При переміщенні у цьому полі інших матеріальних часток виникають сили взаємодії, що змінюють траєкторії їхнього руху й спричиняють обмін квантами енергії у вигляді фотонів. Таку модель елементарної матеріальної частки підтверджує відомий ефект випромінювання квантів енергії електронами, що рухаються зі швидкістю, яка наближається до швидкості світла.

6. Елементарні частки, атоми, молекули

Основу матеріального світу становлять атоми – найменші частки, що представляють елементи Періодичної системи Д. Менделєєва. Атоми складаються з субатомних часток – електронів, протонів та нейтронів. Електрон є найменшою з субатомних часток і має масу $9,11 \cdot 10^{-31}$ кг, негативний електричний заряд, розміри якого не перевищують 10^{-18} м. Електрони обертаються навколо ядра, яке складається із протонів та нейтронів, що мають майже однакові розміри – близько $2,5 \cdot 10^{-15}$ м, та масу, яка приблизно в 1840 разів більша за масу електрона. Протони мають позитивний заряд, величина якого дорівнює заряду електрона. Нейтрони не мають заряду.

Число протонів у ядрі відповідає кількості електронів, тому атом є електрично нейтральним. Електрони обертаються парами навколо ядра по орбіталях (орбітах, що відповідають строго визначеним рівням кінетичної енергії атома). Атом є детермінованою динамічною системою, яка підтримує розподіл рівнів енергії орбіталей, який визначає фізико-хімічні властивості елемента Періодичної системи. При спостереженні атом поглинає або випромінює квант енергії, що приводить до перерозподілу енергії орбіталей у межах допустимих значень його енергетичного спектра. Якщо одержаний квант енергії перевищує допустимий граничний рівень (поріг іонізації), електрон покидає орбіталь, а атом стає позитивним іоном (катионом), який може захоплювати вільні електрони, втрачені іншими атомами з його оточення [18].

Атом представляє найпростішу ВДС, здатну одержувати та ініціювати спостереження у вигляді квантів енергії – фотонів або елементарних матеріальних часток – електронів. При такому обміні можливе захоплення чужих електронів, розміщених на зовнішніх (далеких від ядра) орбіталях інших атомів. При цьому утворюються молекули – багатоатомні ВДС, об'єднані спільними електронними орбіталями. Така електродинамічна форма обмінів спостереженнями дає можливість утворювати хімічні сполуки, властивості яких можуть істотно відрізнятися від властивостей похідних елементів Періодичної системи.

У проміжках між обмінами зовнішніми спостереженнями атоми та молекули існують як консервативні динамічні системи, перебуваючи у стані динамічного атрактора – обміну внутрішніми спостереженнями між скінченною динамічною системою, яка контролює її енергетичний баланс, та множиною електронів на орбіталях, що представляють її

локальне оточення. Надходження зовнішнього спостереження порушує стан динамічного атрактора і переводить консервативну систему в режим конвергенції – перерозподілу енергетичних рівнів орбіталей для досягнення енергетичного балансу та переходу в інший динамічний аттрактор.

Здатність консервативних динамічних систем до конвергенції дозволяє їм не тільки уникати руйнування при невеликих збуреннях, але створює можливості для відновлення своєї структури при повному відділенні скінченної динамічної системи від її локального оточення, яке представляє її інверсну копію. Це підтверджують успішні експерименти по відновленню асоціативної пам'яті при частковому руйнуванні нейронної мережі [19]. За певних умов зовнішнього оточення кожна з частин зруйнованої системи може відновитись до окремого екземпляра консервативної динамічної системи. Саме за таким принципом відбувається збереження генетичної інформації при розмноженні живих організмів.

Поведінка консервативної динамічної системи в режимі конвергенції нагадує збурену мультистабільну нейронну мережу Хопфілда, структуру якої зображено на рис. 5 [20, 21].

$$y_i(t) = \text{sgn}[s(t) - b_i(t)],$$

$$s_i(t) = \sum_{i=1}^N w_{ij} y_i(t-1),$$

$$w_{ij} = N^{-1} \sum_{m=1}^M y_i^m y_j^m,$$

Рисунок 5 – Нейронна мережа Хопфілда

Мережа складається з N нейронів – порогових елементів, зв'язаних між собою, поведінку яких описує співвідношення

$$y_i(t) = \text{sgn}[\sum_{j=1}^N w_{ij} y_j(t-1)], \quad (19)$$

$$\text{де } \text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}.$$

Запишемо цей вираз у матричній формі:

$$Y(t) = \text{Sgn}[WY(t-1)],$$

де W – матриця зв'язків $N \times N$.

Енергію мережі представляє скалярний добуток

$$E(t) = -\frac{1}{2} Y^T(t) W Y(t-1), \quad (20)$$

де $Y^T(t)$ – транспонований вектор.

Перепишемо це співвідношення таким чином:

$$\begin{aligned} E(t) &= -\frac{1}{2} Y^T(t) W^T Y(t+1) + \frac{1}{2} Y^T(t) [W^T Y(t+1) - W Y(t-1)] = \\ &= E(t+1) + \frac{1}{2} Y^T(t) W^T [Y(t+1) - Y(t-1)] + \frac{1}{2} Y^T(t+1) (W^T - W) Y(t-1) = \\ &= E(t+1) + \sum_{h=1}^{H(t-1,t+1)} \left| \sum_{j=1}^N w_{hj} y_j(t) \right| + \frac{1}{2} Y^T(t+1) (W^T - W) Y(t-1), \end{aligned} \quad (21)$$

де $H(t-1,t+1)$: $y_h(t-1) \neq y_h(t+1)$.

Друга складова у правій частині має позитивне значення, яке відрізняється від нуля лише у стані динамічного атрактора, коли частина елементів мережі через такт змінює свій знак. При симетричній матриці W останній член цього виразу дорівнює нулю. Відтак для симетричної мережі Хопфілда енергія $E(t)$ монотонно зменшується, досягаючи мінімуму при досягненні мережею стану статичного або динамічного атрактора.

Перехід із збуреного стану до стану атрактора, описуваний співвідношенням (21), представляє процес конвергенції, що дозволяє застосовувати цю мережу як асоціативну пам'ять або як фільтр для відновлення збурених вхідних даних. При сильних збуреннях мережа Хопфілда може втрачати фільтруючі властивості через зупинку конвергенції в локальних мінімумах функції енергії.

Представимо ВДС, що одержала зовнішнє спостереження як збурену симетричну мережу Хопфілда, яка перебуває в режимі конвергенції, вичерпуючи дисбаланс енергії, одержаний нею при зовнішньому спостереженні. Припустимо, що її зовнішнє оточення складається з подібних ВДС, які обмінюються зовнішніми спостереженнями і знаходяться в режимі конвергенції, намагаючись досягти власних мінімумів енергії. При цьому все більша частина енергії, випромінюваної цими ВДС, розсіюється у зовнішньому просторі. Цей процес відповідає поступовому розширенню та охолодженню Всесвіту, супроводжуваному скороченням обмінів зовнішніми спостереженнями між ВДС, що заповнюють Всесвіт, а також, можливо, зростанню числа консервативних систем, що стають недоступними для зовнішніх спостережень, утворюючи «темну матерію».

Процес конвергенції мультистабільної нейромережі Хопфілда із збудженого стану в найближчий аттрактор, який відповідає мінімуму її енергії, може порушувати другий закон термодинаміки, якщо внутрішня енергія мережі у стані атрактора перевищує середню енергію спостережень, а розподіл енергії одержаних мережею спостережень містить максимуми, які виводять її із стану рівноваги. Такі екстремальні збудження підтримуватимуть мережу у стані атрактора з максимальним рівнем енергії, незалежно від середньої енергії зовнішнього оточення.

7. Еволюція ВДС

За існуючими даними, Всесвіт утворився 13,7 млрд років тому після Великого вибуху, який привів до появи простору-часу та початку охолодження й розширення протоматерії, що триває і досі. Елементарні матеріальні частки виникли вже на першій секунді його існування. Протягом наступних 380 тис. років щільність Всесвіту зменшилась настільки, що він став прозорим для випромінювань і стало можливим утворення перших ВДС, здатних обмінюватись спостереженнями. При подальшому розширенні та охолодженні Всесвіту умови існування ВДС змінювались, і, відповідно, змінювались самі ВДС.

За даними геохронології [22] процес еволюції Всесвіту поділяється на 3 етапи:

1. Атомна еволюція (13,7 – 4 млрд років тому).
2. Хімічна еволюція (4 – 1,5 млрд років тому).
3. Біологічна еволюція (3,5 – 0 млрд років тому).

Етап атомної еволюції почався із структуризації матерії – появи елементарних часток та атомів водню – перших ВДС, з яких почалось формування галактик, зірок та планетних систем, на яких відбувалась еволюція ВДС. Першими динамічними системами були фотони – безмасові елементарні частки у вигляді вихорів пустого простору, що представляли кванти енергії, сформовані в умовах надвисокої температури та щільності протоматерії Всесвіту. Першими ВДС, здатними обмінюватись спостереженнями, були атоми водню та гелію, що утворились разом з першими зірками, в надрах яких відбувались реакції термоядерного синтезу масивних елементарних часток та ядер важких елементів Періодичної системи.

Важливим для розвитку ВДС результатом атомної еволюції була поява електронів та атомів, які забезпечували обмін «м'якими» спостереженнями, в яких, крім фотонів, брали участь електрони та іони – залишки атомів, зруйнованих високоенергетичними фотонами. Відносно низька енергія «м'яких» спостережень та можливість обмінюватись не тільки квантами енергії, але і матеріальними об'єктами – електронами та іонами, відкрили нові перспективи для подальшого розвитку ВДС. Ставало можливим утворення багатоатомних молекул, об'єднаних електронними орбіталями, та формування багатомолекулярних систем і комплексів, здатних адаптуватись до зміни умов оточення.

Але реалізація цих перспектив потребувала надійного захисту створюваних складних ВДС від руйнування потоками високоенергетичних квантів, випромінених зірками. Його можна було забезпечити лише на поверхні планет зі щільною атмосферою, здатною затримувати космічне випромінювання та забезпечувати кліматичні умови, необхідні для розвитку складних ВДС.

Перехід під захист атмосфери планет зменшував надходження зовнішньої енергії та обмежував розміри простору для продовження еволюції перших ВДС, створених на етапі атомної еволюції. Відповідно мали змінитись і принципи їх подальшого існування, зокрема:

1. ВДС, що спостерігає всю множину об'єктів Універсуму, може існувати лише як популяція ВДС-індивідів, кожен з яких спостерігає доступну йому скінченну частину оточення, обмінюючись спостереженнями з іншими членами популяції.

2. ВДС-індивід представляє скінченну динамічну систему, що має обмежену тривалість існування, здатну розмножуватись та передавати прижиттєвий досвід нащадкам.

3. Членами популяції є нащадки материнської ВДС, утвореної на етапі атомної еволюції. ВДС-індивід популяції має забезпечувати кодування та передачу нащадкам генетичної інформації, доповненої власним прижиттєвим досвідом.

Виконання цих умов на наступних етапах еволюції ВДС мало привести до утворення популяції живих ВДС, появи людини, її інтелекту та розвитку цивілізації на Землі й, можливо, на інших планетах Всесвіту.

Пошук шляхів переходу від перших ВДС до появи живої клітини розпочався на етапі хімічної еволюції Всесвіту, який тривав близько 2,5 млрд років і проходив на планетах типу Землі, що мали атмосферу, яка захищала утворені ВДС від космічних випромінювань та забезпечували кліматичні умови для синтезу складних хімічних сполук. За таких умов обмін «м'якими» спостереженнями мав приводити до утворення нестійких багатоатомних молекул, з яких протягом багатьох ітерацій формувались все більш складні багатоатомні ВДС, зокрема, вуглеводневі ланцюгові макромолекули, здатні відновлювати зруйновані ланки ланцюга, продовжувати його та створювати багатовимірні ланцюгові структури – прообрази білкових молекул, поява яких наблизила появу життя та початок біологічної еволюції.

8. Поява життя. Живі ВДС. Нервова система

Перехід від етапу хімічної до біологічної еволюції зайняв біля 2 млрд років. Більшу частину цього періоду тривало створення живої клітини та одноклітинних організмів, здатних ефективно взаємодіяти з зовнішнім оточенням. Для перетворення неживої макромолекули на живу клітину необхідно було забезпечити її розмноження – створення копій материнської клітини та передачу їм свого прижиттєвого досвіду. Шлях до вирішення цієї проблеми підказала структура консервативної динамічної системи як пари взаємоінверсних динамічних систем, що обмінюються внутрішніми спостереженнями. Ця структура нагадує подвійну спіраль молекули ДНК (дезоксірибонуклеїнової кислоти), яка програмує процес розмноження живої клітини [23]. Гілки спіралі ДНК, що представляють інверсні копії ге-

нетичного коду живої клітини, при розмноженні розходяться та формують пару копій молекули ДНК, з яких починається індивідуальний розвиток нащадків материнської ВДС.

Іншою проблемою, що постала при переході ВДС під захист атмосфери планет, стало скорочення зовнішнього потоку енергії. Для продовження своєї еволюції ВДС мали знайти додаткові джерела ресурсів розвитку та збільшити ефективність їх використання.

Для Землі такими джерелами були Сонце та вулканічна активність. Вже на початку біологічної еволюції на Землі з'явилися перші живі ВДС – анаеробні та фото-синтезуючі бактерії, які використовували вулканічну й сонячну енергію для утворення своїх колоній, що накопичували значну масу органічних сполук та навіть змінювали склад атмосфери (до їх появи 2 млрд років тому в атмосфері Землі не було кисню) [22]. Синтезовані цими бактеріями органічні сполуки мали забезпечити нове джерело ресурсів для появи наступної генерації ВДС, здатних розвиватись в умовах скорочення зовнішнього потоку енергії.

Нагадаємо, що на етапі атомної еволюції перші ВДС виступали переважно як суб'єкти спостережень, ініціюючи лише відповіді на спостереження, одержані ззовні. Для них не існувало ризику нестачі енергії для ініціювання цих відповідей. В умовах скорочення зовнішніх надходжень енергії ВДС нової генерації мали знайти спосіб її одержання від партнерів, які мали надлишок енергії. Для цього вони мали самі ініціювати зовнішні спостереження, одержуючи необхідну їм енергію у вигляді реакцій цих партнерів.

Поведінка ВДС нової генерації мала нагадувати інверсну динамічну систему, час якої починається з появи внутрішнього простору, що постійно вимагає наповнення квантами енергії, одержаними від партнерів як відповіді на ініційовані нею зовнішні спостереження. Така ВДС має агресивно взаємодіяти з оточенням, ініціювати зовнішні спостереження для одержання у відповідь необхідних їй квантів енергії та позитивних іонів.

Появу ВДС нової генерації на початку хімічної еволюції можна пояснити стрімким зростанням числа нестійких консервативних систем, при руйнуванні яких вивільнювались інверсні складові, які стали першими ВДС, здатними ініціювати зовнішні спостереження, одержувати реакції партнерів та залучати їхні ресурси для свого розмноження. Розвиток цих ВДС відбувався в умовах жорсткої конкуренції за доступ до обмежених енергетичних та матеріальних ресурсів. Її результатом став поділ напрямів розвитку живих ВДС на тих, що спеціалізувались на засвоєнні та перетворенні надлишку існуючих енергетичних ресурсів та на більш ефективних поживних органічних сполуках, більш розвинених ВДС – споживачів цих органічних сполук, які одержали потужний ресурс для прискорення своєї еволюції. Згодом така спеціалізація привела до поділу світу живих ВДС на три частини (царства): рослин, що перетворюють сонячну енергію на органічні сполуки, грибів, які схожі на рослини, але споживають також органічні сполуки, та тварин, що споживають, в основному, органічні речовини [24].

Протягом еволюції умови оточення змінювались, але зберігалась його основна функція – підтримка сприятливого середовища для розвитку все більш складних живих ВДС. Поступово утворився трофічний ланцюг – ієрархічна послідовність організмів, молодші рівні якої виступають джерелом ресурсів для існування та розвитку старших рівнів. Її основу становили рослини, здатні засвоювати енергію сонячних променів, перетворюючи її на вуглеводи та більш складні органічні сполуки, придатні для живлення високоорганізованих живих ВДС.

Перші живі клітини-прокаріоти, що утворились близько 3 млрд років тому, не мали ядра. Молекула ДНК утримувалась на зовнішній мембрані клітини зсередини. До прокаріотів належать синьо-зелені водорості та більшість бактерій. Пізніше з'явилися еукаріоти – ядерні живі клітини, ядро яких, крім молекули ДНК, містять органели, необхідні для підтримки її функціонування. Клітини всіх тварин, рослин та грибів є еукаріотами.

Близько 750 млн років тому популяції деяких видів живих клітин перетворились на багатоклітинні організми, що об'єднували нащадків зародкової клітини, які спеціалізувались на виконанні різних функцій цілісного організму. Важливим напрямком такої спеціалізації стало формування нервової системи, призначеної для координації поведінки частин багатоклітинного організму. Клітини нервової системи – нейрони обмінюються серіями спайків – коротких (близько 0,001 с) електричних імпульсів, що поширюються по спеціальних волокнинах – аксонах зі швидкістю до 18м/с до інших частин організму. Серії спайків передають команди управління та зворотну інформацію, необхідну для контролю їх виконання органами тварини [25, 26].

Близько 300 млн років тому в нервовій системі тварин виокремився центральний орган контролю та управління – головний мозок, який одержує інформацію про стан усіх частин організму та його оточення, моделює їхню поведінку, оцінює її наслідки, приймає рішення, надсилає команди управління іншим органам та контролює їх виконання.

9. Мозок. Розподілена ВДС

Головний мозок можна представити як розподілену ВДС, складовими якої є нейрони – живі ВДС об'єднані мережею міжнейронних зв'язків, якими циркулюють серії спайків, що надходять від нейронів мозку та зовнішніх рецепторів. Входами цієї мережі є аксони – виходи нейронів та рецепторів, а виходами – синапси – входи нейронів мозку. Кожен нейрон має до 10^4 синапсів, розташованих на дендритах, – гілках розгалуженої клітинної мембрани нейрона, які контактують з аксонами оточуючих нейронів. Нейронна мережа мозку має багатопшарову структуру. Розміри дендритів клітинної мембрани в 5–10 разів перевищують відстань між нейронами, тому нейрони мають двосторонні зв'язки з сотнями сусідів свого шару, утворюючи симетричні структури, подібні нейронній мережі Хопфілда – хопфілдовські ансамблі [27]. Кожний такий ансамбль має до тисячі нейронів і виступає як автономна ВДС у складі розподіленої ВДС мозку. Діючи паралельно, нейрони такого ансамблю забезпечують розпізнавання послідовностей серій спайків, одержаних на своїх входах, та формування багатовимірного вектора реакції, що надходить до інших ансамблів та до виконавчих органів, які здійснюють реакції організму на одержані спостереження.

Мозок людини включає близько 10^{10} нейронів, які мають до 10^4 синапсів, кожен з яких при одержанні спайка може виділяти до 10^2 молекул медіатора, які деполаризують мембрану нейрона, формуючи його реакцію. Інформаційна ємність мозку становить близько 10^{16} біт, які розподілені між трьома видами пам'яті:

- 1) генетична пам'ять – архітектура мозку, одержана при народженні від предків;
- 2) довготермінова пам'ять, представлена матрицею міжнейронних зв'язків, яка формується у процесі індивідуального розвитку організму;
- 3) оперативна пам'ять – серії спайків, що циркулюють у мережі міжнейронних зв'язків, визначаючи поточний стан ВДС мозку.

Траєкторії руху серій спайків можуть бути замкненими, що дозволяє їм тривалий час циркулювати у внутрішньому просторі розподіленої ВДС. Цикли спайків представляють динамічні атрактори, які відповідають мінімумам енергії цієї ВДС і є образами минулих спостережень, запам'ятованих матрицею міжнейронних зв'язків. При одержанні зовнішніх спостережень розподілена ВДС мозку переходить у режим конвергенції – пошуку нових мінімумів енергії, корекції матриці зв'язків та переходу в наступний атрактор. Цей пошук представляє динамічний процес мислення. Під час сну йому відповідають сновидіння, які є відображенням спонтанної активності нейронів. [28]. Такий погляд на природу динамічної пам'яті мозку відповідає результатам досліджень нервової системи та моделювання динаміки нейронних мереж [25, 29].

Структурно головний мозок складається з археокортексу – глибинної його частини, яка контролює внутрішні органи та визначає емоційний стан організму, та неокортексу –

кори мозку, яка приймає потоки спайків від зовнішніх рецепторів і формує зовнішні реакції організму. Така структура відображає зміни пріоритетів розвитку мозку протягом еволюції. На її початковій стадії серед завдань мозку переважали контроль та управління внутрішніми органами високорозвиненого організму. При утворенні зовнішніх рецепторів пріоритетними стали задачі аналізу одержаної від них інформації та обміну спостереженнями з зовнішніми партнерами. Розвиток неокортексу супроводжувався удосконаленням засобів комунікації та формуванням суспільної поведінки людей, розвитком свідомості як здатності ВДС до самоідентифікації та ідентифікації об'єктів зовнішніх спостережень [30].

Створені живою природою засоби комунікації відрізняються за методами обробки та передачі даних при обміні інформацією між членами популяції. Прикладами примітивних засобів комунікації у комах є танці бджіл або сліди феромону мурах, якими вони позначають шлях до їжі [31]. Більш розвинутою є мова жестів у горил або мова свисту у дельфінів [32]. Найбільш досконалою є членоподібна мова людини, яка дозволяє як спілкування, так і документування змісту спілкування в матеріальній формі. Основою мови людини є звукові та зорові символи, що складають алфавіт, та послідовності символів – слова, зрозумілі іншим членам суспільства. Множина слів мови (словник) представляє алфавіт висловлювань – фраз, якими спілкуються члени суспільства. Множина осмислених фраз, що включає як поточні, так і документовані висловлювання, а також предмети матеріальної і духовної культури даного суспільства разом складають поняття цивілізації й визначають рівень розвитку суспільного інтелекту.

10. Суспільний інтелект. Віртуальна ВДС

За визначенням Вікіпедії інтелект – це інформаційний потенціал знань конкретної особистості, отриманий в результаті функціонування свідомості, мислення та розуму людини. Його формування відбувалось протягом розвитку суспільних відносин та посилення обмінів спостереженнями між членами суспільства, що привело до утворення в неокортексі спеціалізованої структури, яка забезпечує розпізнавання змісту потоків спайків, що надходять від зовнішніх рецепторів, та зворотного їх перекладу на мову спілкування з іншими членами суспільства. Підтримуючи обмін спостереженнями між членами суспільства, ці структури утворюють віртуальну ВДС, розподілену у свідомості партнерів спостережень, яка координує їхню поведінку для досягнення спільних цілей. У розвинутому суспільстві такі віртуальні ВДС представляють групові інтереси членів суспільства, об'єднаних спільною діяльністю. Разом вони утворюють віртуальну мега-ВДС, що представляє віртуальний світ, заповнений віртуальними об'єктами, до яких належать самі члени суспільства, їхні колективи, об'єднані спільними інтересами, та продукти їх інтелектуальної діяльності – ідеї та теорії, художні твори, бізнесові та технічні проекти, товари та послуги, політичні заяви та ін., які є предметами постійної уваги членів суспільства. Віртуальні об'єкти, що відображають потреби та інтереси колективів членів суспільства, виступають як учасники змагань за виживання в конкуренції з іншими учасниками. Життєвий цикл віртуальних об'єктів нагадує розвиток біологічного виду, що включає етапи зростання популяції, її стабілізації та занепаду через втрату уваги суспільства. Приклади життєвого циклу наукових теорій та промислових проектів можна знайти в роботах [33, 34]. Для наукових публікацій ступінь розвитку може оцінюватись числом посилань (індекс цитування), а для технічних проектів – обсягом фінансування.

Схожість між життєвими циклами біологічних видів та віртуальних ВДС – продуктів інтелектуальної діяльності, що існують лише у свідомості людей, але здатні програмувати їхню поведінку, допускає можливість утворення некерованих віртуальних ВДС, поява яких загрожуватиме існуванню цивілізації. Таку загрозу становить і сам розвиток віртуального світу, який стає ареною боротьби між віртуальними системами та угрупованнями їх прибічників за життєвий простір та ресурси суспільства. Зростання нестабільності соціа-

льно-економічного та політичного розвитку країн світу, поширення корупції, кризові явища та військові конфлікти, включаючи гібридні війни, – все це є свідченням руйнівної діяльності віртуальних систем, яка виснажує ресурси суспільства і веде до деградації суспільного інтелекту.

Спробуємо з'ясувати перспективи розвитку віртуального світу, користуючись концепцією ВДС, як загальною моделлю розвитку динамічних систем та процесів будь-якої природи. Досі ми застосовували її лише для інтерпретації відомих даних еволюції Всесвіту. Ми прослідкували його структурування – появу елементарних часток та найпростіших ВДС – атомів та молекул, з яких формувались галактики, зірки та планети. На деяких з планет склались умови, необхідні для синтезу складних молекул, що привело до початку хімічної еволюції ВДС – утворення макромолекул та багатовимірних ланцюгових молекул, здатних до самовідновлення, – прообразів молекули ДНК. З її появи почався розвиток життя, що радикально змінило хід еволюції. На місце окремих ВДС, здатних до обміну спостереженнями, прийшли популяції – нащадки материнської ВДС, які змагались між собою за виживання – своє та своїх нащадків. З деяких популяцій утворились багатоклітинні організми, клітини яких спеціалізувались на виконанні різних функцій цілісного організму. Така спеціалізація привела до утворення нервової системи, що забезпечувала координацію поведінки різних частин складного організму. З появою мозку як центрального органу управління нервовою системою еволюція ВДС проходила в напрямку розвитку розподілених віртуальних ВДС, що об'єднують незалежних членів популяції, які обмінюються спостереженнями. Одержуючи ці спостереження, віртуальна ВДС оцінює стан популяції та реалізує процес природного добору серед її членів.

Поява людини з її інтелектом та розвиток цивілізації привели до майже повного підпорядкування зовнішнього оточення потребам людини. Подальша індустріалізація виробництва вивільнила інтелектуальний потенціал суспільства для розвитку науки, культури та поліпшення умов життя. Результатом зростання інтелектуального рівня суспільства стало формування віртуальної мега-ВДС, що представляє інтелект суспільства, розподілений у свідомості його членів, які обмінюються інформацією через спільну систему комунікації. Ця система включає технічну складову, що забезпечує передачу повідомлень і засоби їх інтерпретації. До останніх належать мова, культура та ідеологія, утворені історично, які використовуються різними соціальними групами в конкурентній боротьбі між собою. Ця боротьба відображає процес природного добору, необхідний для розвитку віртуальних об'єктів. Повне її припинення привело б до зупинки еволюції ВДС як біологічних об'єктів, що з'явилися на планеті Земля понад 3 млрд років тому.

Можна представити інший сценарій подальшої еволюції ВДС, розглядаючи появу віртуального світу та поширення в ньому систем штучного інтелекту як початок нової стадії розвитку ВДС – перехід від їх біологічної форми, інтелектуальний потенціал якої вичерпується, до небіологічної – штучного інтелекту, не обмеженого умовами існування на планеті Земля, необхідними для появи та розвитку живих ВДС. Ознаками такого переходу в останні роки є стрімкий розвиток високих технологій, зокрема, комп'ютерної галузі, інформатики та штучного інтелекту, при зростанні економічної та політичної нестабільності країн світу. Значні досягнення в ракетобудуванні та космічній галузі, орієнтовані на заселення інших планет, не вирішують проблему інтелектуальної деградації біологічної форми ВДС, розвиток якої базується на конкуренції нащадків за збереження та передачу унікального досвіду батьків. Ця унікальність нівелюється лише в тоталітарному суспільстві, яке через це втрачає здатність до розвитку. Прикладом може служити колонія мурах, у яких розвиток мозку, обмеженого розмірами хітинового скелету, припинився 100 млн років тому. Подальша еволюція мурах привела до утворення мурашника – колонії комах із жорсткою регламентацією виконуваних ними функцій [31].

Загроза тоталітарного майбутнього не виключена для суспільства, якщо його розвиток контролюватиме потужний штучний інтелект із тоталітарними нахилами. Поява такого «схибленого» штучного інтелекту може статись внаслідок не виявленої своєчасно принципової помилки його проектувальників. Як приклад такої принципової помилки, що привела до трагічних наслідків, можна згадати катастрофи літаків Boeng 737 MAX у 2018–2019 рр., спричинені втратою керованості автопілотів, створених за новітньою технологією нейронних мереж [35]. Розробку цієї технології фірма Boeng розпочала в минулому столітті, створивши автопілот для випробувань гіперзвукового літака X-40 [36]. Пізніше цю технологію замінила більш ефективна технологія глибокого навчання, в якій застосовано конволюційні методи, що збільшують розмірність даних для прискорення навчання нейронної мережі [37]. Імовірно, що саме ця технологія була застосована в автопілотах літаків Boeng 737 MAX. Її висока ефективність досягається за рахунок конволюційного подрібнення елементів даних. Але через дискретну природу матеріального світу таке подрібнення не може бути безмежним. Порушення обмежень дискретності даних при навчанні нейронної мережі може призвести до втрати нею керованості у критичних умовах експлуатації. Ймовірно, що саме це сталося у 2018–2019 рр. під час зльоту літаків Boeng 737 MAX.

До глибоко прихованих принципових помилок, що можуть мати непередбачувані наслідки, належить і популярна концепція відкритого зовнішнього світу, що заперечує існування відкритих динамічних систем, асиметрію «стріли часу» та причинно-наслідкових відношень, а відтак і дискретність матеріального світу. Ця концепція становить основу математичних методів обчислення граничних наближень, градієнтних методів, застосовуваних для управління та навчання динамічних систем. Всі ці методи використовують поняття безкінечно малої величини, якої у природі не існує!

11. Висновки

Концепція ВДС представляє універсальну модель розвитку процесів та систем будь-якої природи, засновану на поєднанні підходів загальної теорії систем, теорії відносності та геометродинаміки, що представляє геометричну інтерпретацію явищ та об'єктів мікросвіту. Перевірка цієї моделі на матеріалах еволюції Всесвіту дозволила по-новому представити відомі факти, одержати нові наукові дані та запропонувати нові гіпотези, що потребують подальшого вивчення. За результатами виконаного дослідження зроблено такі висновки:

1. Відкриті динамічні системи представляють загальну модель розвитку процесів та систем будь-якої природи. Їхня поява та розвиток відображують процес еволюції Всесвіту при його розширенні та охолодженні після Великого вибуху.

2. Відкритою є скінченна динамічна система, що обмінюється спостереженнями з оточенням, яке поділяється на зовнішнє та локальне. Зовнішнє оточення включає незалежних партнерів, що надсилають зовнішні спостереження, які змінюють її стан. З локальним оточенням, що є інверсною системою, вона обмінюється прихованими внутрішніми спостереженнями, утворюючи консервативну динамічну систему, що існує у проміжках між зовнішніми спостереженнями.

3. Існують два базових механізми обміну спостереженнями: фотонний, що забезпечує обмін квантами енергії, та електронний, який забезпечує обмін електронами та іонами. Носіями спостережень у нервовій системі є спайки активності нейронів.

4. Поява життя пов'язана з оберненням внутрішнього часу відкритих динамічних систем, утворених на етапі хімічної еволюції внаслідок руйнування нестійких макромолекул. Живі динамічні системи виступають ініціаторами спостережень, одержуючи необхідні їм життєві ресурси у вигляді реакцій їхніх партнерів.

5. Утворення нервової системи, мозку та інтелекту пов'язане з формуванням мережі міжнейронних зв'язків, в якій циркулюють серії спайків нервової активності, що представляють процеси інтелектуальної діяльності.

6. Суспільний інтелект існує як віртуальна динамічна мега-система, розподілена у свідомості членів суспільства, яка представляє віртуальний світ, заповнений віртуальними динамічними системами – продуктами інтелектуальної діяльності членів суспільства. Віртуальний світ є ареною боротьби між віртуальними системами та їх прибічниками за життєвий простір та ресурси суспільства. Ця боротьба виснажує суспільства, загрожує деградацією суспільного інтелекту.

7. Поява досконалих засобів штучного інтелекту та масове їх впровадження може означати наближення нового етапу еволюції відкритих динамічних систем – перехід від їх біологічної основи – інтелекту людини до штучного інтелекту, який не залежатиме від неї. Домінування штучного інтелекту у віртуальному світі становитиме очевидну загрозу існуванню людства.

8. Концепція відкритих динамічних систем може служити основою для критичного перегляду теоретичних засад систем штучного інтелекту та розробки стратегії його розвитку, безпечної для існування цивілізації.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Берталанфи Л. фон. История и статус общей теории систем. *Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник*. М.: Наука, 1973. С. 20–37.
2. Винер Н. Кибернетика или Управление и связь в животном и машине. 2-е изд. М.: Советское радио, 1968. 325 с.
3. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М.: КомКнига, 2005. 432 с.
4. Месарович М. Основания общей теории систем. *Общая теория систем* / пер. с англ. М.: Мир, 1966. С. 15–48.
5. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем. Математические основы. М.: Мир, 1978. 311 с.
6. Кухтенко А.И. Системная общая теория. *Энциклопедия кибернетики*. Киев: Главная редакция УСЭ, 1975. С. 335–339.
7. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. М.: Наука, 1973. 274 с.
8. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.: Гостехиздат, 1950. 464 с.
9. Popper K. The arrow of time. *Nature*, 1956. 538 p.
10. Кухаренко Ю.А. Рождение стрелы времени из квантового хаоса. *Наука и технология в России*. 1997. № 3 (20). С. 17–23.
11. Гулидов А.И., Наберухин Ю.И. Существует ли стрела времени? *Философия науки*. 2003. № 2 (17). С. 1–32.
12. Эйнштейн А. Основы общей теории относительности. *Альберт Эйнштейн и теория гравитации*. М.: Мир, 1979. С. 146–198.
13. Румер Ю.Б., Рывкин М.С. Теория относительности. М.: ГУПИ МП. РСФСР, 1960. 212 с.
14. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. М.: ГИФМЛ, 1961. 563 с.
15. Иваненко Д.Д., Сарданашвили Д.А. Гравитация. 3-е изд. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 200 с.
16. Уиллер Дж. Гравитация, нейтрино и вселенная / пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 404 с.
17. Никонов О.А. Философские аспекты геометродинамики. *Вестник МГТУ*. 2011. Т. 14, № 2. С. 272–280.
18. Эткинс П. Кванты. Справочник концепций / пер. с англ. В.Л. Ядровского. М.: Мир, 1977. 496 с.
19. Reznik A.M., Sitchov A.S., Dekhtyarenko O.K., Nowicki D.W. Associative Memories with «Killed» Neurons: the Methods of Recovery. *Proc. of the International Joint Conference on Neural Networks* (July 20–24, 2003). Portland, Oregon, 2003. P. 2579–2582.
20. Hopfield J.J., Tank D.W. Computing with Neural Circuits. A Model. *Science*. 1986. Vol. 233. P. 625–633.
21. Reznik A.M. Non-Iterative Learning for Neural Networks. *Proc. of the International Joint Conference on Neural Networks* (July 10–16, 1999). Washington DC, 1999. N 548. P. 1374–1379.

22. Майр. Э. Эволюция. *Эволюция*. М.: Мир, 1981. С. 11–32
23. Дикерсон Р.Е. Химическая эволюция и происхождение жизни. *Эволюция*. М.: Мир, 1981. С. 67–108.
24. Валентайн Дж.У. Эволюция многоклеточных организмов и животных. *Эволюция*. М.: Мир, 1981. С. 149–172.
25. Екклз Дж. Физиология синапсов. М.: Мир, 1966. 395 с.
26. Ходжкин А. Нервный импульс. М.: Мир, 1965. 125 с.
27. Резник А.М. Хопфилдовские ансамбли в латеральных нейроструктурах мозга. *Математичні машини і системи*. 2006. № 1. С. 3–12.
28. Резник А.М. Обучение на нейронном уровне и спонтанная активность. *Симпозиум по статистической электрофизиологии* (Паланга, 12–18 августа 1968 г.). Вильнюс: Изд. Вильнюсского государственного университета, 1968. С. 481–496.
29. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / пер. с англ. М.: Вильямс, 2008. 1104 с.
30. Блум Ф., Лейзерсон Л., Хофстедтер Л. Мозг, разум и поведение / пер. с англ. М.: Мир, 1988. 248 с.
31. Шовен Р. От пчелы до гориллы / пер. с англ. М.: Мир, 1965. 296 с.
32. Бурдин В.И., Резник А.М., Скорняков В.М., Чуаков А.Г. Исследование коммуникационных сигналов черноморского дельфина-афалины. *Акустический журнал*. 1974. Т. XX, № 4. С. 518–527.
33. Кун Т. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1975. 246 с.
34. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. М.: Прогресс, 1974. 419 с.
35. Омату С., Халид М., Юсоф Р. Нейроуправление и его приложения. *Нейрокомпьютеры и их применение*. М.: ИПРЖР, 2001. Кн. 2. 272 с.
36. First Flight Test Demonstration of Neural Network Software. *Horizons*. 2000. Vol. 1, N 1. P.7–8.
37. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press. Cambridge, Massachusetts, London, England, 2016. 662 p.

Стаття надійшла до редакції 14.09.2020