
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 574.8:59.2: 004.7

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.2-59.32>

ПРО ОДИН ПОРІВНЯЛЬНИЙ КРИТЕРІЙ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ПЕВНИХ ЕКОСИСТЕМ, ЛЮДИНИ І СТВОРЕНИХ НЕЮ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Волошин В.С.¹, Данилова Т.Г.²

Державний заклад вищої освіти «Приазовський державний технічний університет»

вул. Гоголя, 29, 49044, м. Дніпро

vsvlshn52@gmail.com, kvitonk@gmail.com

У статті представлено результати аналізу двох екосистем: популяції мурах та людини і у порівнянні з неорганічним світом штучного інтелекту, створеним людиною. В якості критерію для порівняння береться зміна (зростання) ентропії кожної з аналізованих систем, включаючи деякі їх підсистеми. Такий показник можна використовувати для порівняння багатьох біологічних популяцій і окремих неорганічних систем на планеті. Це дозволяє розглядати такі системи дещо по-іншому, наприклад, у сферах їх існування, співіснування та конкуренції. Термодинамічна складова цього показника дозволяє опосередковано судити про ті природні ресурси, які не використовуються людиною. Прикладом для цього є деякі екосистеми мурах або системи штучного інтелекту. Інформаційна складова зміни ентропії рівнів організації людського суспільства, включаючи ті інформаційні ресурси, які вже створила людина, це можливий напрямок, в якому він здатний послідовно перевершувати найбільш організовані біологічні системи, незважаючи на те, що багатомільйонний досвід їх еволюції дозволяє розглядати як ближчий до оптимального в порівнянні з творіннями рук людських. Слід погодитися з тим, що лише відсутність когнітивної складової в системах штучного інтелекту обмежує їх розвиток, темпи якого і зараз перевищують темпи розвитку будь-яких інших біологічних систем на планеті. І, як приклад, мурахи, незважаючи на 100-мільйонний досвід «колективного розуму», так і не опанували якості когнітивізму. Подібний підхід дозволив у ретроспективному аналізі відзначити можливості створення не просто конкурентного середовища, а перспективи співіснування таких екосистем у співвідношенні до їх часових інтервалів розвитку. Разом з тим, залишається надзвичайно актуальним питання: чи зможуть системи штучного інтелекту з необмеженими інформаційними ресурсами та здатністю до найпростішої логічної екстраполяції оволодіти когнітивними механізмами пізнання та оцінки природної сутності, як це роблять люди, що може стати темою подальших досліджень. *Ключові слова:* популяції, екосистеми, людина, мурахи, штучний інтелект, ентропія, конкуренція та співіснування.

On a comparative criterion for certain ecosystems, humans and artificial intelligence systems created by them. Voloshyn V., Danilova T.

The paper presents the results of a comparative analysis of two ecosystems: populations of ant and human in comparison with the inorganic world of artificial intelligence created by man. As a criterion for comparison, the change (growth) of the entropy of each of the analyzed systems, including some of their subsystems, is taken relate to such systems, for example, in the field of their existence, coexistence and competition. The thermodynamic component of this indicator makes it possible to judge those natural resources that are not used by humans, an example of which are some biological systems of ants or artificial intelligence systems. The informational component of the change in entropy in the levels of organization of human society, including those information resources that man has already created, is a possible direction in which he is able to consistently surpass the most organized biological systems, despite the fact that the multi-million experience of the evolution of these systems allows us to consider them closer to optimal in comparison with the creations of human hands. It should be agreed that only the absence of a cognitive component in artificial intelligence systems limits its development, the pace of which even now exceeds the pace of development of any other biological systems on the planet. Such an approach made it possible to note in retrospective analysis the possibilities for creating not just a competitive environment, but the prospects for the coexistence of such ecosystems in relation to their time intervals of development. At the same time, an extremely relevant question remains open: whether artificial intelligence systems with unlimited information resources and the ability to the simplest logical extrapolation will be able to master the cognitive mechanisms of cognition and assessment of natural essence, as humans do, which may constitute the topic of subsequent research. *Key words:* populations, ecosystems, humans, ants, artificial intelligence, entropy, competition and coexistence.

Постановка проблеми. Беручи до уваги рівень зростаючого техногенного навантаження на природу, роль самої людини і створеного нею штучного неорганічного світу (міста, промисловість, інформаційні та інші мережі, системи штучного інтелекту),

таке протиріччя стає все більш антагоністичним і вимагає нових підходів до вивчення цього явища.

Актуальність дослідження. Стан навколишнього середовища і активна виробнича діяльність здавна поставили людину на перше місце

в списку популяцій з антагоністичним ставленням до Природи, яка її створила. Протиріччя стає непереборним, а в доступній для огляду перспективі – нерозв'язним. Досвід інших розвинених популяційних екосистем на планеті, а також можливості нових систем штучного інтелекту можуть стати своєрідною програмою для людського суспільства з нівелювання існуючих антропогенних дисбалансів, джерелом яких є людина.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історія біологічної науки знає такі свідомі або колективні функції, які, як вважається, властиві тільки людині, але які мають місце серед деяких інших біологічних систем, наприклад, колективні способи добування їжі, системні колективні рухи, «колективний розум» у деяких комах. Останні привертають до себе особливу увагу хоча б тому, що ще сто мільйонів років тому до людини вони першими у відомій природі оволоділи такими рисами, які здаються характерними тільки для *Homo sapiens*. Це професійна спеціалізація в колективній діяльності, тваринництві, землеробстві та інших функціях, що вимагають колективних рішень від індивідів. Просте

порівняння окремих параметрів і характерних функцій, наприклад, людини і мурашки (табл. 1) дає дуже повчальні результати.

«Колективний розум» у мурах почав еволюціонувати в міру того, як вони почали формувати складні соціальні структури, включаючи спеціалізації за професіями. Здатність мурах працювати як єдине ціле *без явного керівництва з боку однієї особини* (важлива особливість) призвела до значних еволюційних переваг, таких як більш ефективне виконання завдань і виживання в складних умовах. Людина до такого результату (*децентралізованого управління*) прийшла лише через 2 мільйони років свого існування в 21 столітті, створивши так звані технології «blockchain» з розподіленими реєстрами і, об'єктивно, без централізованого управління. Для людини одна з причин великої кількості спеціалізованих професій пов'язана з високим рівнем потреб і їх широкою діяльністю, а велика частина цих видів діяльності пов'язана з взаємодією зі світом неорганічної речовини [6, 7].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Порівняльний аналіз начебто відомих

Таблиця 1

**Деякі порівняльні параметри, характерні для мурах і людини
в антропометричному і функціональному рядах**

Назва системи, ознака	Мурахі	Людина
Загальна кількість особин	$20 \cdot 10^{15}$	$8,1 \cdot 10^9$
Загальна маса, тон	$12 \cdot 10^6$	$5,02 \cdot 10^8$
Макросистема,	Розсередоточений організм	Зсередоточений організм
Мікросистема	Мураха	Клітина
Тривалість життя роду, роки	$1 \cdot 10^8 \div 8 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^6$
Тривалість життя особини	Королева – 5-6 років, робочі мурахі – 30-90 діб	Людина – 70 років, клітина еритроциту – 120 діб, клітина шкіри – 28 діб
Кількість клітин головного мозку	$2,5 \cdot 10^5$ для однієї мурахі $8,6 \cdot 10^{10}$ для 344000 мурах	$8,6 \cdot 10^{10}$ у однієї людини
Форма передачі сигналу в мозковій субстанції	Колективна взаємодія індивідів з підпорядкуванням мозку кожного	Мережа електричних і хімічних зв'язків між нейронами, що опосередковано забезпечує мислення
Умовна форма розуму	Елементи колективного розуму. Відсутність когнітивізму	Індивідуальний розум. Когнітивність
Наявність особистих якостей	Відсутня	Існує
Організація праці	Професійна спеціалізація	Професійна спеціалізація
Число професій	10-15	10000-15000
Рівень та ознаки соціальності	Високий, залежний	Високий, Незалежний
Спосіб спілкування	Опосередкований, тактильний, хімічний,	Прямий, мова
Відходи і ступінь їх утилізації	Органічні, у т. ч. битові – 100%	Органічні, у т. ч. битові – 20%
	Неорганічні – немає	Неорганічні – ~ 15%

Джерело: за даними робіт [1–5]

екологічних (органічних і неорганічних) систем на Землі, зведених до загальних критеріїв оцінки, може дати принципово новий результат у вивченні шляхів сталого співіснування людини і природного середовища. З огляду на те, що практично всі існуючі екосистеми пов'язані з енергетичним обміном, в якості такого показника логічно використовувати зміну ентропії і пов'язані з нею процеси можливого сталого розвитку досліджуваних систем.

Наукова новизна та методологічне значення досліджень складається в тому, що в якості критерія для співставлення деяких екосистем прийнятий показник зміни їх ентропії, і як підсумок, показані перспективи сталого розвитку екосистем, що взаємодіють з людиною та штучним інтелектом.

Викладення основного матеріалу. Час є одним з основних факторів еволюційного розвитку в природі. На рис. 1 показані основні часові інтервали, протягом яких розвивалися досліджувані системи: популяції мурах і людей, а також системи штучного інтелекту як продукт людського розуму. Людський мозок оволодів дещо іншим механізмом прискореної еволюції, ніж інші біологічні системи. В її основі лежить набута властивість *когнітивізму* як самоорганізованої пізнавальної діяльності. Формування «колективного розуму» у мурах було пов'язане з розвитком феромонного інформаційного простору в ранньому крейдяному періоді, а спеціалізація в професіях – з початком так званої еусоціальності.

Дуже короткий, але інтенсивний період розвитку штучного інтелекту дозволяє виявити лише дві його складові в часових інтервалах порівняння: емісія генеративної пам'яті машини і людини, а також

виникнення замісних (для людини) спеціалізацій. Якщо сила активних нейронів у мозку людини дорівнює $2,5 \cdot 10^{15}$ байт, то порівняння потужності суперкомп'ютера Frontier (США) дорівнює $1,1 \cdot 10^{15}$ байт. Основи промислової спеціалізації людина отримала близько 4,5 тисяч років тому (всього 10-15 тисяч професій), мурахи – сто мільйонів років тому (12-15 спеціальностей), а ШІ – лише кілька десятиліть тому (дані класифікації O*NEET, США), але вже в кількості 470 типів професій.

В якості ще одного показника, який може характеризувати дві розглянуті популяції, а також штучний інтелект, ми будемо використовувати такий узагальнюючий параметр, як зміна (збільшення) ентропії в досліджуваних системах. Це показник ступеня деградації або розвитку, це порівняльний рівень організації досліджуваних систем. Порівняння двох чисто біологічних систем, а особливо з неорганічною системою (штучним інтелектом), що бурхливо розвивається, може бути дуже повчальним для людини. В роботі [8] було показано, що якщо взяти за точку відліку стан термодинамічної рівноваги для кожної з розглянутих систем, то людина в динаміці програє конкуренцію за термодинамічну нерівноважність, за володіння здібностями до розвитку в порівнянні з системами штучного інтелекту. Такі аргументи можуть бути спростовані або підтверджені за допомогою додаткових досліджень.

Термодинамічна складова ентропії для мурашиної суперколонії дає уявлення про можливий розподіл енергії в системі, а її інформаційна складова оцінює невизначеність або обсяг інформації, пов'язаної з їх станами. За точку відліку візьмемо термодинаміч-

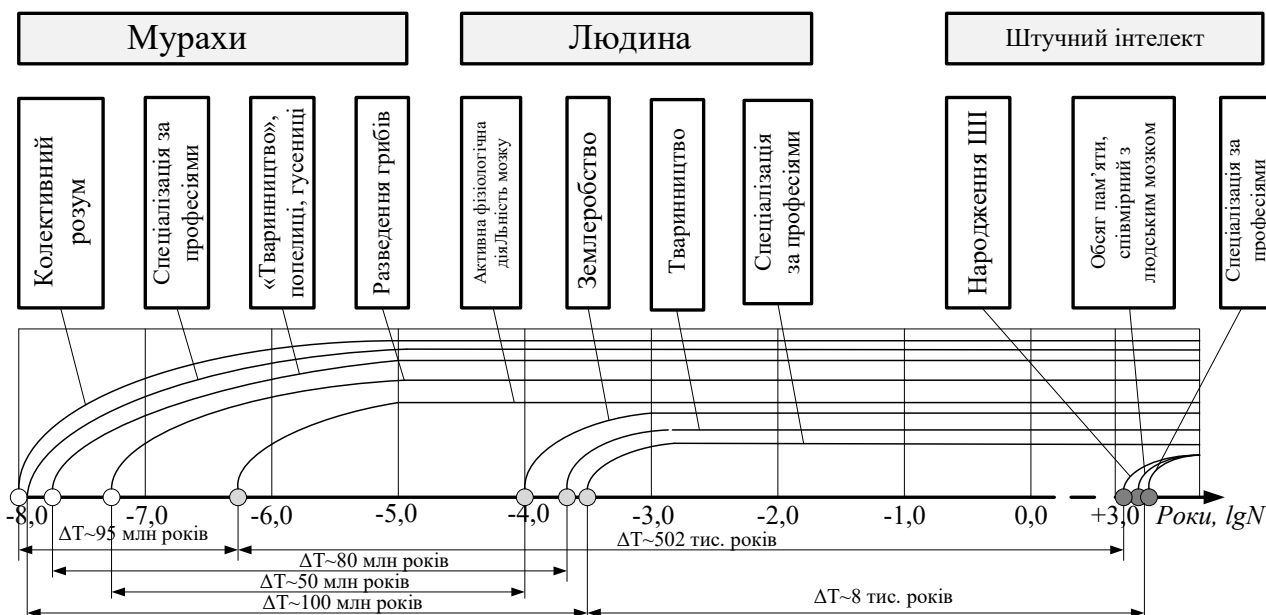


Рис. 1. Позначення в часовому масштабі основних порівняльних еволюційних етапів у розвитку популяцій мурах, людини та штучного інтелекту

ний стан колективного ареалу – суперколонії мурах, який знаходиться на європейському узбережжі Середземного моря. Вихідні дані для розрахунку такої суперколонії будуть взяті з джерел [1, 2, 3].

Термодинамічні характеристики мурашиної колонії можна розрахувати двома способами. Якщо розглядати мурашину колонію як систему теплообміну, де джерелами тепла є нескінченна кількість самих мурах, а також сонячне світло, вентиляційні та ізоляційні системи, то зміна ентропії розраховується відповідно до другого закону термодинаміки $\Delta S = \Delta E / T$, де $\Delta E = 5 \cdot 10^{-28}$ Дж / особину [1]; $T = 291K$ – температура в колонії. Тоді зміна термодинамічної ентропії в суперколонії 10^9 особин за часовий інтервал в одну секунду складе

$$\Delta S = \frac{5 \cdot 10^{-28} \cdot 10^9}{291} = 1,695 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} / (K \cdot c).$$

Існує і другий, альтернативний, метод розрахунку, який передбачає взяття за основу хаотичні механізми руху кожного індивіда в повному обсязі. Звичайно, зведення пересування мурах до хаотичного є дещо умовним припущенням, адже вузька спеціалізація кожної мурашки вимагає лише її рухів, організованих певним чином, але в даному випадку, з огляду на велику масу особин, цим можна знехтувати. У класичному випадку для термодинамічної ентропії використовується наступний вираз: $\Delta S = k_b \ln(\Omega)$, где Ω – кількість можливих мікростанів в залежності від чисельності мурах, їх розподілу по території і їх взаємодій (наприклад, форми контактів, генерація феромонів), типу взаємодії (по «професіям»); $k_b = 1.38 \times 10^{-23}$ Дж/К – константа Больцмана.

Параметрами для розрахунку зміни ентропії в даному випадку є:

- опосередкована температура в мурашнику $T = 295K$;
- температура навколишнього середовища $T = 291K$;
- кількість мурах, $N = 10^9$;
- площа колонії $F = 6000 \text{ км}^2$;
- прийнята енергія взаємодії мурах за допомогою феромонів, при русі, а також витрата енергії на підтримку активності, температури тіла, температури гнізда $E = 5 \cdot 10^{-28}$ Дж / особину [1].

Прийняті професії та види взаємодії: збирачі (0,45), солдати (0,15), годувальники (0,115), няні (0,11), будівельники (0,072), санітари (0,04), розвідники (0,035), пастухи (0,03), утилізатори (0,015).

Скористаємося оцінковою моделлю [9], яка описує число можливих мікростанів в залежності від енергії взаємодії E_i , площі окремого i -го ареалу F_i і кількості мурах в i -ом ареалі N_i

$$\Omega \approx \sum \frac{F_i N_i}{E_i} = k_{cp} \sum \frac{N_i^2}{E_i},$$

де k_{cp} – опосередкований коефіцієнт щільності особин, що обслуговують F_i -ю площу.

Розрахунок зміни ентропії зводиться до визначення параметра Ω і отримання значення ΔS , зведеного до одиниці часу

$$\Delta S = 1.38 \times 10^{-23}.$$

$$\cdot \ln \left\{ \frac{0,33}{5 \cdot 10^{-28}} \sum \left[\begin{aligned} &8,77 \cdot (10^9)_{\phi}^2 + 1,34 \cdot (10^9)_{\kappa}^2 + \\ &+ 1,52 \cdot (10^8)_{\kappa}^2 + 1,12 \cdot (10^7)_{\kappa}^2 + \\ &+ 4,54 \cdot (10^7)_{cm}^2 + 2,56 \cdot (10^6)_{cm}^2 + \\ &+ 3,31 \cdot (10^6)_{\rho}^2 + 4,89 \cdot (10^5)_{nc}^2 + 0,88 \cdot (10^5)_{\gamma}^2 \end{aligned} \right] \right\} =$$

$$= 1,202 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} / (K \cdot c).$$

Цікаво порівняти термодинамічну ентропію людського мозку ($6,4 \cdot 10^{-2}$ Дж/(К·с), обчислена з [8] і популяції $3,44 \cdot 10^5$ мурах, загальний мозок якої за кількістю нейронів приблизно відповідає мозку однієї людини. Припустимо, що в даній популяції зберігається така ж ступінь спеціалізації. Тоді

$$\Delta S = 1.38 \times 10^{-23}.$$

$$\cdot \ln \left\{ \frac{0,33 \cdot 3,44^2}{5 \cdot 10^{-28}} \sum \left[\begin{aligned} &8,77 \cdot (10^5)_{\phi}^2 + 1,34 \cdot (10^5)_{\kappa}^2 + \\ &+ 1,52 \cdot (10^4)_{\kappa}^2 + 1,12 \cdot (10^3)_{\kappa}^2 + \\ &+ 4,54 \cdot (10^3)_{cm}^2 + 2,56 \cdot (10^3)_{cm}^2 + \\ &+ 3,31 \cdot (10^3)_{\rho}^2 + 4,89 \cdot (10^2)_{nc}^2 + 0,88 \cdot (10^2)_{\gamma}^2 \end{aligned} \right] \right\} =$$

$$= 0,92 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} / (K \cdot c)$$

Інформаційна ентропія – це друга складова системи оцінки взаємодій всередині суперколонії, яка відповідає за впорядкованість і ступінь її організації. Для розрахунку інформаційної ентропії ми будемо враховувати такі параметри:

- *потік* інформації, що передається між мурахами в суперколонії, наприклад, за допомогою феромонів, сигналів про пошук їжі, захисту і т. д.;
- *невизначеність стану* як випадковості, з якою кожен мурашка виконує своє завдання, що збільшує ступінь ентропії;
- *обсяг переданої інформації*, необхідної для опису стану системи (наприклад, місцезнаходження мурах, їх поведінка і т. д.).

Інформаційна ентропія H обчислюється за формулою Шеннона $H = -\sum p_i \log(p_i)$, де p_i – ймовірність того, що система знаходиться у стані i . Для суперколонії мурах ці ймовірності можуть означати, що мураха знаходиться в певному місці або виконує конкретне бінарне завдання, таке як робота або відпочинок, рух або статизм, контакт або його відсутність. Для видів «спеціалістів» з числа розглянутої вище популяції мурах встановимо для них значення ймовірностей з урахуванням даних [1, 9, 10]: $p_{\phi} = 0,7$, $p_{\kappa} = 0,3$, $p_{\kappa} = 0,1$, $p_{\kappa} = 0,05$, $p_{cm} = 0,05$, $p_{cm} = 0,07$, $p_{\rho} = 0,005$, $p_{nc} = 0,005$, $p_{\gamma} = 0,001$.

Розрахунок зводиться до обчислення зміни ентропії що приходить на одну мурашку за одиницю часу:

$$H = -[0,7 \log_2 0,7 + 0,3 \log_2 0,3 + 0,1 \log_2 0,1 + 0,05 \log_2 0,05 + 0,05 \log_2 0,05 + 0,07 \log_2 0,07 + 0,005 \log_2 0,005 + 0,005 \log_2 0,005 + 0,001 \log_2 0,001];$$

$$H \approx 1,999 \text{ біт/с. Або } H = 1,456 \cdot 0,956 \cdot 10^{-23} = 0,019 \cdot 10^{-21} \text{ Дж/(K} \cdot \text{c)}$$

Для заявленої популяції в 1 мільярд мурах інтегральна інформаційна ентропія може становити: $H_{total} = 1,9 \cdot 10^{-14} \text{ Дж/(K} \cdot \text{c)}$. Далі звернемо увагу на інші локальні розрахункові дані, які дають додаткові результати до вже наявних. Методика розрахунку залишається колишньою.

У термодинамічному аспекті, і в ретроспективі 100 мільйонів років свого існування, мурашині колонії локально набагато більш організовані, ніж більшість з того, що створила людина, включаючи його самого за 2 мільйони років існування. Зростання термодинамічної ентропії у відомих суперколоніях на кілька порядків нижче, ніж зростання ентропії в системах, створених людиною, в тому числі і його мозком.

Мурашині поселення характеризуються дуже дбайливим ставленням до наявного тепла. Його зберігають для підтримки оптимальної температури (18°C) на догоду личинкам, попелиці, одомашненим гусеницям, грибів. Існують раціонально побудовані вентиляційні канали, які відводять зайве тепло з території колонії, тим самим мінімізуючи можливе зростання ентропії. Урбосистеми, на відміну від мурашиних поселень, запрограмовані на втрати енергії у вигляді централізованих перетоків теплоносіїв для обігріву житлових приміщень, втрат в водних магістралях та ін. Важливим джерелом зростання ентропії в урбосистемах є транспортна система, промислові підприємства, системи виробництва енергії, кожна з яких має запрограмоване збільшення ентропії з тієї частини енергії, яку вона споживає, тим самим підвищуючи ступінь втрати енергії в таких термодинамічних системах. Зокрема, теплові втрати в суперколонії мурах $1 \cdot 10^9$ особин за рахунок вентиляційних каналів в кількості 120 од/га і з середнім діаметром $\sim 0,006 \text{ м}$ складають $1,27 \cdot 10^{-14} \text{ Дж/добу [1]}$, що відповідає зміні ентропії $\Delta S \approx 4,35 \cdot 10^{-22} \text{ Дж/(K} \cdot \text{c)}$. Втрати тепла

через ґрунт будуть набагато менше. Для порівняння, втрати тепла від розподілу енергії для потреб міста з населенням 1 млн осіб і площею 700 км^2 осіб (без урахування промислової складової) перевищують $5,18 \cdot 10^5 \text{ Дж/добу}$, що відповідає зростанню ентропії $\Delta S \approx 0,0198 \text{ Дж/(K} \cdot \text{c)}$. Різниця в термодинамічній ефективності вимірюється десятками порядків.

Мозок людини – це компактна нейронна система з відносно низьким енергоспоживанням (20 Вт), на відміну від розподіленого колективного мозку мурашки, кожна умовна клітина якого потребує на порядки менше енергії внаслідок синергетичних ефектів і поступається людському мозку за функціональністю.

У свою чергу, нейронна мережа, наприклад, з розмірністю 32 біта, в залежності від обсягу (10^9 параметрів), а також структура даних і використання алгоритми, як носії штучного інтелекту, у вигляді неорганічної системи, вимагає величезних, в порівнянні з мозком людини або мурашки, енергетичних витрат (умовно до 1,0 кВт). І, як будь-яка штучна неорганічна система, створена людиною, вона запрограмована на значні великі втрати енергії і збільшення ентропії в опосередкованих розмірах $\Delta S \approx 9,2 \text{ Дж/(K} \cdot \text{c)}$.

Узагальнимо отримані дані в таблиці 2, де можна буде оцінити ефективність такого показника, як ентропія системи як критерій організації і можливості розвитку розглянутих біологічних і неорганічних систем.

Таким чином, показник термодинамічної ентропії в ретроспективі розвитку показує значні відмінності між тим, що людина створила за 2 мільйони років свого існування на основі неорганічних систем (міста, машини, підприємства, комунікації, мережі) і організованим біологічним світом, який був створений і вдосконалений нашими аналогами – мурашиними колоніями – протягом 100 мільйонів років. Тією мірою, якою їх некогнітивний «колективний розум» дозволяє їм це робити.

Інші результати є в області інформаційної ентропії. Тут переваги людини і всього доступного, що він створив, на кілька порядків вище, ніж у мурашиних популяцій з їх стомільйонною історією.

Таблиця 2

Порівняльні дані про зміну ентропії для деяких органічних і неорганічних систем

№ з/п	Ім'я системи		Зміна ентропії, Дж/(K·с)	
			термодинамічної	інформаційної
1	Мурашина популяція	$N = 10^9$	$1,202 \cdot 10^{-21}$	$1,9 \cdot 10^{-14}$
		$N = 3,44 \cdot 10^5$	$0,92 \cdot 10^{-21}$	$1,9 \cdot 10^{-14}$
2	Мозок людини		$6,4 \cdot 10^{-3}$	$6,91 \cdot 10^{-20}$
3	Урбосистема с $N = 1 \cdot 10^6$		$1,98 \cdot 10^{-2}$	$1,44 \cdot 10^{-17}$
4	Система штучного інтелекту		9,2	$3,5 \cdot 10^{-18}$

Людський мозок, в силу своєї когнітивності, створює величезну палітру потреб і одягає їх у все зростаючі інформаційні потоки (потреби в якості життя, способи досягнення, результати, втрати, відповідність запрограмованому і т. д.), які до недавнього минулого перероблялися сумірними можливостями самого мозку і паперових носіїв, а пізніше за допомогою комп'ютерних технологій – з величезними, по швидкості обробки, можливостями. А останні є штучно створеними людиною неорганічними системами. В результаті більш ефективним стає людський мозок, який сам по собі є унікальним інформаційним інструментарієм в біологічному світі, ефективність якого натеper на багато порядків перевищує все, що існує в біологічному світі. Це підтверджується мінімізацією зміни інформаційної ентропії для таких систем (Табл. 2).

Мурашині колонії зі своїм «колективним мозком», на відміну від людей і систем штучного інтелекту, мають набагато менший набір інформаційних інструментів.

Це – тактильні органи почуттів, на їх частку припадає не більше $6,5 \cdot 10^{-15}$ Дж/((К·с) інформаційних ентропійних витрат;

– феромонні залози, $3,1 \cdot 10^{-14}$ Дж/((К·с) втрати інформаційної ентропії;

– мінімальний набір потреб – харчування і біологічна підтримка, розмноження, безпека, що корелює з $1,8 \cdot 10^{-14}$ Дж/((К·с) інформаційного ентропійного навантаження.

Сюди можна додатково віднести спеціалізацію праці, яка вимагає від виконавців, з одного боку, менших інформаційних витрат, але більших витрат на комунікативні відносини між групами осіб. Такий мінімум необхідної інформації для мурашиних колоній робить їх уразливими за багатьма показниками життєздатності, на відміну від людини.

В цілому можна зробити висновок, що інформаційна складова на рівнях організації людського суспільства, в тому числі і тих інформаційних систем, які вже створила людина, є можливим напрямком, в якому він зможе послідовно перевершити найбільш організовані біологічні системи, навіть незважаючи на те, що багатомільйонний досвід еволюції деяких з цих систем дозволяє розглядати їх ближче до оптимальних в порівнянні з творіннями рук людських. У розвитку інформаційної складової людського буття вбачається перспектива

її розвитку як симбіозу органічної та неорганічної речовини.

Повертаючись тепер до рис. 1, можна сформулювати логічне припущення, що якщо штучний інтелект завдяки своєму необмеженому кількісному інформаційному ресурсу досягне здатності оволодівати однією і тією ж властивістю – когнітивними взаємодіями, то швидкість його розвитку буде непорівнянною навіть у порівнянні з темпами розвитку людини. І наслідки такого еволюційного руху в значно коротші проміжки часу матимуть уже не характер еволюційного, але революційного розвитку, відкриваючи нові можливості для неорганічного світу, якщо продовжувати порівнювати його зі світом біологічного життя.

Відкритим залишається питання: чи зможуть системи штучного інтелекту, що володіють необмеженим інформаційним ресурсом і здатністю здійснювати найпростішу логічну екстраполяцію, оволодіти когнітивними механізмами пізнання і оцінки природної сутності, як це робить людина.

Головні висновки та перспективи використання результатів дослідження.

1. Запропонований показник ефективності, а саме зміна (зростання) ентропії, який може бути використаний для порівняння багатьох біологічних популяцій, екосистем та окремих неорганічних систем на планеті, дозволяє розглядати такі системи дещо по-іншому, наприклад, з точки зору їх існування, співіснування та конкуренції.

2. Термодинамічна складова цього показника дозволяє судити про ті природні ресурси, які не використовували людиною, та прикладом яких є мурашині екосистеми або системи штучного інтелекту.

3. Мінімізація інформаційної складової ентропії на рівнях організації людського суспільства, в тому числі і тих інформаційних систем, які вже створила людина, є можливим напрямком, в якому він зможе послідовно перевершити найбільш організовані біологічні системи, незважаючи на те, що багатомільйонний досвід еволюції цих систем дозволяє розглядати їх ближче до оптимальних в порівнянні з творіннями рук людини, та може стати предметом подальших досліджень.

4. Людина не може не погодитися з тим, що тільки відсутність когнітивної складової в системах штучного інтелекту обмежує їх розвиток, темпи якого і зараз перевищують темпи розвитку будь-яких інших біологічних систем на планеті.

Література

1. Hölldobler B., Wilson E. O. The Superorganism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies. W.W. Norton & Company New-York, 2009. P. 103-120.
2. Guerrieri F., et al. Ecological characteristics of the Argentine ant (*Linepithema humile*) supercolony in the Mediterranean region. *Insectes Sociaux*, 2010. 57(1). P. 1-8.
3. Sundström L., et al. Colony fusion and colony splitting in the Argentine ant: supercolonies, territory dynamics and their consequences. *Behavioral Ecology*, 1996. 7(2). P. 160-169.

4. Tsutsui N. D., Suarez, A. V. The Colony Structure and Distribution of the Argentine Ant (*Linepithema humile*) in California and the Mediterranean. *Biological Invasions*, 2003. 5(1). P. 1-10.
5. Tsuji K. The formation and expansion of supercolonies of the Argentine ant, *Linepithema humile*, in Japan. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2006. 87(2). P. 253-261.
6. Harari, Y. N. *Sapiens: A Brief History of Humankind*. London, Harper, 2011. 443 p.
7. Diamond, J. *Guns, Germs, and Steel*. New York, W.W. Norton & Company. 1997. 480 p.
8. Волошин В. С., Азархов О. Ю. Чому людина починає програвати конкуренцію за термодинамічну нерівноважність, як фактор розвитку в навколишньому техногенному середовищі. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2024. Вип. 49. Т. 2. С. 86-93.
9. Gordon D. M. *Ant Encounters: Interaction Networks and Colony Behavior*. Front Cover. Princeton University Press. 2010. 152 p.
10. Moffett M. W. *Adventures Among Ants: A Global Safari with a Cast of Trillions*. University of California Press. 2010. 474 p.