

Волошин В. С., д-р техн. наук, проф.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь - Дніпро, Україна

РОЛЬ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ НЕРІВНОВАЖНОСТІ В КОНКУРЕНЦІЇ ЗА ПЛАНЕТАРНІ ЕКОСИСТЕМИ

Природа, умовно поділяючись на органічний і неорганічний світи, перебуває в постійній динамічній взаємодії. В основі такої взаємодії, в повній відповідності за другим законом термодинаміки, лежить термодинамічна нерівноважність систем, стан яких змінюється в часі від сильного порушення рівноважності до наближення до стану повної рівноваги в залежності від певних термодинамічних параметрів.

У загальному випадку співвідношення систем у стані термодинамічної нерівноважності є показником розвитку Природи на Землі. Чим більше локальних світів знаходиться в такому стані, тим різноманітніша наша Природа, тим більші перспективи її розвитку.

Існує безліч факторів, як природних, так і штучних, які перешкоджають зростанню термодинамічної нерівноважності в природі [1]. Наприклад, до перших можна віднести природне охолодження ядра планети, локальні критичні варіанти вулканічної активності, що супроводжуються викидами величезної кількості пилу і газів, які перешкоджають проникненню сонячних променів на поверхню планети і сприяють її охолодженню. Або деформація озонового шару і проникнення жорсткого космічного випромінювання на земну поверхню. До штучних факторів можна віднести будь-який техногенний вплив на Природу. Самі техногенні системи також можуть перебувати в нерівноважному стані, але для підтримки нерівноважності їм часто потрібно набагато більше енергії, ніж природним системам для цього [2].

Ми будемо розглядати поверхню нашої планети як глобальну екосистему, умовно розділивши її на розташований на ній неорганічний метало-металоїдний світ, і світ біологічного різноманіття, що включає саму людину і все, що пов'язано з її існуванням. В енергетичному аспекті таку систему слід розглядати як стаціонарну, термодинамічно нерівноважну, яка має два джерела енергії – сонячне випромінювання і внутрішнє тепло планети. Обидва цих енергетичних потоки J_1 і J_2 для нашої системи ми будемо приймати як стаціонарні, зустрічні та не рівні нулю.

Термодинамічні сили, які є джерелами цих потоків, в даному випадку існують як енергетичний потенціал випромінювання Стефана-Больцмана $X_1 \sim (\frac{0,01}{T^4})$ від Сонця та тепловий градієнт Фур'є $X_2 \sim (\frac{1}{T})$ від ядра планети, спряжені таким чином, що виконується умова Л. Онзагера щодо утворення ентропії в слабко нерівноважних системах, де $\sigma = \sum_{\gamma} X_{\gamma} J_{\gamma}$. При цьому кожний γ – збурюючий потік є функцією термодинамічної сили, що викликає його за допомогою феноменологічних коефіцієнтів $L_{\gamma j}$ таким чином, що $J_{\gamma} = \sum_j L_{\gamma j} X_j$, де j – об'єкт застосування дії потоку J_{γ} . Звернемося до умов обґрунтованості лінійних феноменологічних співвідношень. Загальне виробництво ентропії в стаціонарній лінійній слабко-нерівноважній системі визначається як $\sigma = \sum_{j\gamma} L_{j\gamma} X_j X_{\gamma} > 0$. Такий аналіз застосовний там, де в системі відбувається спонтанний перехід від стану сильної нерівноважності до рівноважного стану.

Показником прояву термодинамічної нерівноважності в екологічних системах є зміна градієнта термодинамічного (за І. Пригожиним, хімічного) потенціалу $\delta\mu$, що визначає напрямок вектора зміни ентропії δS в системі. У цьому випадку теорему Пригожина для визначення зміни ентропії в системі за деяким переліком збурюючих факторів (γ) можна представити у вигляді $(\pm)\Delta S = \sum_{\gamma} [\sigma_{\gamma}(\Delta\tau) - J_{\gamma}\nabla\mu]\Delta$, де: ΔS – вектор и зміни ентропії у певному часовому вимірі $\Delta\tau$; $\sigma_{\gamma}(\Delta\tau) = \sigma/\tau$ – внутрішня швидкість виробництва ентропії по γ – порушення в часовому інтервалі $\Delta\tau$; J_{γ} – зовнішній потік речовини або енергії по γ – возмущению; $\nabla\mu = (\frac{\delta\mu}{\Delta x}, \frac{\delta\mu}{\Delta y}, \frac{\delta\mu}{\Delta z})$ – градієнт термодинамічного (хімічного) потенціалу.

Важливим у наших розрахунках є зміна ентропії, яка стосується інформаційних систем, включаючи стільниковий зв'язок та інтернет, нейронні мережі та розвинуті системи штучного інтелекту. Тут за основу прийнято формулу Шеннона $H(x) = -\sum_{i=1}^n (P_i \log_2 P_i)$ – як середню ентропію події (bit), тобто кількість інформації, що приходить на подію (x). Співвідношення між енергетичною та інформаційною ентропією береться з умови $S = k_b \cdot H(x) = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot H(x)$, при цьому $1 \text{ bit} = 9,57 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/К}$.

Що стосується глобальних геологічних, гідро- та атмосферних впливів, а також пов'язаних з ними біологічних систем, основні параметри для аналізу впливу умов термодинамічної нерівноважності отримані розрахунковим шляхом на основі даних досліджень українських вчених Белявцева Р.Ю. (2012, 2016), Кутаса Р.І. (1978),

Лебедева Т.С. (1980), Трипільського А.А. (2004), Гордієнко В.В. (2013), а також джерел World Bank, Global Infrastructure - (2017); U.S. Energy Information Administration (EIA-2021); World Energy Statistics (EIA-2022); NASA Earth Observatory. Earth's Energy Budget; IPCC - Climate Change - (2021); NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), World Meteorological Organization (WMO-2022); N-Habitat-2016; Urbanization and Development: Emerging Futures, (FAO-2020); Land Use in Agriculture ICMM-2020; Mining Contribution to Land Use. Температурні параметри в термодинамічних розрахунках вибиралися оцінково, на основі температурних градієнтів для області впливу тієї чи іншої події, за результатами обробки більш ніж 30 сучасних літературних джерел, а також за даними NOAA, WMO, NASA Earth Observatory, EIA за різні роки спостережень, включаючи розрахункові дані. Зведені дані для аналізу представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Зведені дані показників для розрахунку зміни ентропії в нерівноважних системах на поверхні планети.

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Сукупні витрати енергії на будівництво будівель та утримання промислової та сільськогосподарської інфраструктури.	$5 \cdot 10^{23}$ Дж	Втрати енергії з Світового океану в атмосферу*.	$1,26 \cdot 10^{23}$ Дж/год
Витрати енергії на будівництво доріг та інших транспортних систем	$10^{12} \div 10^{14}$ Дж/км	Втрати енергії від техногенної діяльності людини	$4,2 \cdot 10^{20}$ Дж/год
Сумарні витрати енергії на створення інфраструктури з початку XX століття.	$10^{21} \div 10^{22}$ Дж	Розрахункове значення енергії, що випромінюється Землею в космічний простір	$2,39 \cdot 10^{17}$ Дж/год
Витрати енергії на утримання глобальних комп'ютерних серверних центрів	$2 \cdot 10^{18}$ Дж/год	Загальна енергія біомаси у перерахунку на вуглець*	$9,35 \cdot 10^{21}$ Дж.
Сукупні енерговитрати на створення глобального інформаційного простору	$3,3 \cdot 10^{20}$ Дж	Середньорічна температура та її діапазон на поверхні Землі	288K (185÷ 331K)
Витрати на енергію для підтримки всього Інтернету, включаючи обробку, зберігання та передачу даних	$1,4 \cdot 10^{19}$ Дж/год	Середньорічна температура і її діапазон по всьому Світовому океану	276,5K (275÷ 303K)
Витрати енергії на обслуговування всіх інженерних мереж, що знаходяться в суспільному користуванні.	$6 \cdot 10^{20}$ Дж/год	Середньорічна температура за об'ємом атмосфери та її діапазон	288K (213÷ +329K)

Сукупні витрати енергії на створення всього штучного середовища на Землі, починаючи з древніх індустриальних епох і до наших днів.	$1,6 \cdot 10^{24}$ Дж	Поверхня планети, що вкрита стільниковою мережею	$1,4 \cdot 10^{17}$ м ²
Енергетичні витрати на переробку всіх накопичених промислових і побутових відходів.	$(6 \div 8) \cdot 10^{20}$ Дж	Умовна площа поверхні планети з доступом до Інтернету	$3,7 \cdot 10^{16}$ м ²
Енергія, що виділяється землетрусами на суші і в море.*	$6 \cdot 10^{19}$ Дж/год	Умовна площа міст і населених пунктів	$3,5 \cdot 10^{15}$ м ²
Энергия, высвобождаемая в результате вулканических извержений.*	$1,5 \cdot (10^{18} \div 10^{19})$ Дж/год	Территории ріллі та земельних угодій	$5 \cdot 10^{16}$ м ²
Енергія, що виділяється найбільшими цунамі.*	$7,7 \cdot (10^{15} \div 10^{16})$ Дж/год	Площа, зайнята відкритими шахтами і кар'єрами	$5 \cdot 10^{14}$ м ²
Енергія, що виділяється при атмосферних явищах (грози, смерчі, циклони, урагани).*	$2,5 \cdot 10^{21}$ Дж/год	Площа промислових і побутових техногенних скупчень	$2 \cdot 10^{14}$ м ²
Потери энергии от суши в атмосферу Земли.*	$3,3 \cdot 10^{21}$ Дж/год	Площа суші на земній поверхні	$1,48 \cdot 10^{17}$ м ²

*)опосередкована оцінка

Розрахункові значення відносних значень зміщення вектору зміни ентропії $(\pm)\Delta S$ щодо сумарного виробництва ентропії σ при зовнішньому потоці що збурює речовину J або енергію представлені на рис. 1.

Розрахункам підлягали 62 з історично відомих станів окремих органічних і неорганічних екосистем з найбільш значними енергетичними впливами на планету, зокрема:

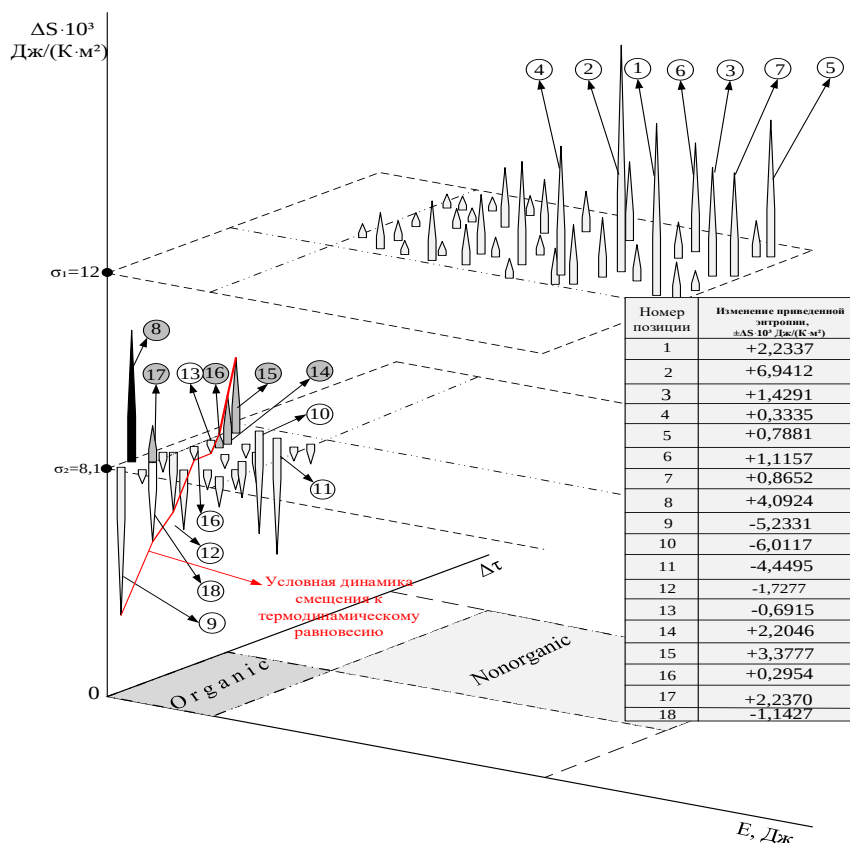


Рисунок 1 – Результаты параметричного розрахунку термодинамічної нерівноважності стану деяких екосистем на Землі. (позначення в тексті). Темні знаки позначають явища, пов'язані з діяльністю людини в напрямку термодинамічної рівноваги.

1. Обрані варіанти для аналізу.

Великий чилійський землетрус магнітудою 9,5 за Ріхтером. 1960. Оцінка енергетичного втручання $1,4 \cdot 10^{19}$ Дж -(поз.1). Виверження вулкана Тамбора. 1815. Орієнтовна вивільнена енергія $1,4 \cdot 10^{18}$ Дж (рік без літа) – (поз.2). Виверження вулкана Тоба (Індонезія). 74000 років тому. Енергетична інтервенція $6,0 \cdot 10^{18}$ Дж – (поз.3). Цунамі в Індійському океані 26.12.2004. Орієнтовна енергетична інтервенція $1,0 \cdot 10^{18}$ Дж – (поз.4). Ураган «Патріція», 2015 р. Розрахункова відпущена енергія $1,5 \cdot 10^{18}$ Дж – (поз.5). Тайфун ТИП. 1979. Оціночне енергетичне втручання $1,0 \cdot 10^{18}$ Дж – (поз.6). Суперциклон Одіша. 1999. Оціночна енергетична інтервенція $2,4 \cdot 10^{17}$ Дж – (поз.7). Випробування "Цар-бомби" в СРСР. 1974. Розрахункова виділена енергія $2,1 \cdot 10^{17}$ Дж – (поз.8). Синергія від сукупності техногенних об'єктів на планеті: розрахункова витрачена енергія - $1,6 \cdot 10^{23}$ Дж - (поз. 9). Проект перекидання вод з центрального і південного Китаю в північні провінції. Розрахункова енергетична потужність проекту $8,4 \cdot 10^{16}$ Дж (поз.10). Витрати на енергію проекту гідроелектростанції «Три ущелини» в Китаї становлять $1,2 \cdot 10^{20}$ Дж, з річною потужністю $7,09 \cdot 10^{17}$ Дж/рік (поз.

11). Енергетичний обмін (виробництво і передача, в тому числі синергія) в загальній біомасі планети в перерахунку на вуглець, $9,35 \cdot 10^{21}$ Дж - (поз. 12). Зменшення біорізноманіття з вини людини, в перерахунку на вуглець – $1,1 \cdot 10^{15}$ Дж – (поз. 13). Розрахункові енергетичні втручання, необхідні для переробки всіх накопичених промислових і побутових відходів - $(6 \div 8) \cdot 10^{20}$ Дж - (поз.14). Споживання невідновлюваних ресурсів. Орієнтовна вивільнена енергія $(3 \div 4) \cdot 10^{22}$ Дж (поз.15). Оцінено енергетичний вплив промислових викидів в атмосферу і гідросферу $(1,5 \div 2,0) \cdot 10^{20}$ Дж - (поз.16). Сукупні енергетичні витрати на створення глобального інформаційного простору $3,3 \cdot 10^{20}$ Дж/рік – (поз.17). Витрати енергії на підтримання ГП $1,4 \cdot 10^{19}$ Дж/рік – (поз.18).

2. Для неорганічного світу. Як правило, природні процеси, джерелом яких є потужні сили всередині планети, пов'язані з термодинамічною нерівноважністю. Вони прагнуть привести систему в певний стан, близький до рівноваги. Механізмами такого процесу є, наприклад, зрушення тектонічних плит і пов'язані з ними землетруси, вулканічна активність, а також урагани, циклони, цунамі і подібні явища (поз. 1-7, рис. 1). Такі системи мають позитивно спрямовану зміну ентропії, зведену в область впливу в розрахунковому діапазоні від $+0,3 \cdot 10^3$ Дж/(К · м²) до $+6,9 \cdot 10^3$ Дж/(К · м²), а іноді й більше, при внутрішньому виробництві ентропії для таких систем $\sigma_1 = 12 \cdot 10^3$ Дж/(К · м²). Практично всі природні процеси в неорганічному світі спрямовані в бік зростання ентропії в процесі реалізації конкретного явища і тяжіють до тимчасового, за масштабами зовнішнього енергетичного впливу, рівноважного стану, тривалість яких порівнюють з геологічними, гідрогеологічними або атмосферними процесами.

3. Для органічного світу.

3.1. Біологічні системи, як правило, розташовані далеко від стану термодинамічної рівноважності і прагнуть до максимально можливо термодинамічної нерівноважності. Це, перш за все, все, що пов'язано з фотосинтезом, появою і розвитком різноманітності вуглецево-білкової маси (п. 12, рис. 1). Людина внесла свою лепту в цей термодинамічний дисбаланс, створивши власну інфраструктуру - міста, села, сільськогосподарські системи різного роду, величезну кількість мереж зв'язку - залізничної та автомобільної, інформаційно-комунікативної (поз. 9, рис. 1). У кожній такій системі завдяки людській праці локалізується певна вільна енергія, якій людина знаходить застосування у вигляді нових матеріалів, будівель, машин, енергії комунікації для самих різних цілей, в тому числі нових джерел енергії, яких раніше в природі не існувало. Тому стан термодинамічної нерівноважності є надзвичайно

актуальним як для вуглецево-білкового світу, так і для самої людини. З більш пізніх робіт І. Пригожина, І. Стінгерса, М. Мойсеева випливає, що показником термодинамічної нерівноважності для таких систем, а значить і можливостей для розвитку, є мінімізація їх ентропії. Тому боротьба за термодинамічну нерівноважність в природі - це не тільки змагання за локалізацію і збереження енергії на планеті, а й змагання в напрямку розвитку і переважання необхідних для цього систем. Зменшення наведеної ентропії для таких екосистем знаходиться в межах $\Delta S_i = (-0,69 \div -6,0) \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{м}^2)$, що можна порівняти як з величиною внутрішнього виробництва ентропії для них $\sigma_1 = 8,1 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{м}^2)$, так і з показниками зростання ентропії для неорганічних систем. Тобто білково-вуглецеві екосистеми більш спрямовані до максимального порушення термодинамічної рівноважності, ніж неорганічні екосистеми, і людина тут відіграє важливу роль на планеті.

3.2. Зокрема, можна констатувати, що в процесі антропогенезу людина сформувалася, перш за все, як ще один механізм збереження сонячної енергії на планеті [3]. Цю місію вона здійснювала завдяки своїй виробничій діяльності в найбільш різноманітних формах її прояву. Як правило, результатом ставали синергетичні зміни в речовинах, у природному середовищі, що оточує людину. Як «концентратор» сонячної енергії людина не могла не вступити в конкуренцію з природою за термодинамічно нерівноважні стани створених ним систем.

3.3. Першим сигналом для дисипативних процесів стало забруднення навколишнього середовища, яке поступово набуло незворотного характеру, не підвладного природним механізмам утилізації. Маються на увазі промислові та побутові відходи (п. 14, рис. 1), забруднення атмосфери і водного басейну (п. 16, рис. 1). прояв технологічної інерції в самій діяльності людини [6], зменшення біорізноманіття у вуглецево-білковому світі (поз. 13, рис. 1) тощо. Зростання ентропії, викликане діяльністю людини, поступово перевищує енергетичні можливості екосистем щодо відновлення і підтримання нерівноважних станів. Тому конкуренція за термодинамічний дисбаланс повинна лежати в основі біологічного життя взагалі і для людини зокрема.

4. Глобальний інформаційний простір як користувач термодинамічної нерівноважності. Ще однією несподіваною і часто недооціненою причиною спостережуваного зсуву процесів, пов'язаних з утриманням людського суспільства від стану термодинамічної нерівноважності, може бути поступове формування потужної інформаційної оболонки планети (натепер, мережа з майже 800 локальних і

національних операторів і близько 8 млн базових станцій стільникового зв'язку, які надають послуги зв'язку і доступ до мережі Інтернет в окремих країнах і регіонах - охоплюють 95% населення планети [4]) і прагнення розвивати штучний інтелект як метало-металоїдну альтернативу біологічним системам (поз. 17 і 18, рис. 1). Для неї, несподівано, зростання ентропії, що складається з втрат енергії при створенні мережі і її інформаційної складової, по відношенню до суб'єкта впливу – людині стає різко позитивним $\Delta S_{17} = +2,23 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{м}^2)$, Незважаючи на те, що робота таких систем в розрахунковому варіанті для територій зі стійким інформаційним покриттям для мережі Інтернет супроводжується синергетичними ефектами зі зниженням загальної ентропії на $\Delta S_{18} = -1,14 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{м}^2)$.

5. Інтерпретація. Пояснення цьому видно з наступного. Об'єктивність, що доступна людині, завжди знаходиться в межах досяжності його органів почуттів (зору, дотику, слуху і т. д.). Розум і знання дають людині уявлення про величезну кількість предметів і явищ, які знаходяться за межами його органів почуттів, але мають реальний сенс без специфічної вербалізації. У цьому контексті глобальний інформаційний простір відіграє дуже унікальну роль у системі «людина-машина». Вона дозволила зробити віртуальність реальністю і розкріпачити наявну об'єктивність, раніше недосяжну для людини.

Глобальна інформація, як все більш самостійний суб'єкт, для якої людина може стати можливим об'єктом застосування, дозволила об'єктивізувати неймовірно велику кількість людських відчуттів, зробити світ ближче до органів її почуттів. Це безумовний позитив. Для теми даної роботи негативним є те, що синергетичним початком в даному процесі виступає не людина, а створена ним об'єктивна реальність – глобальний інформаційний простір і, зокрема, штучний інтелект, що генерується в його надрах і який вже здатний перехопити ініціативу щодо розвитку термодинамічної нерівноважності і мінімізації ентропії в таких системах без ініціативи самої людини. Вперше умовна система «людина-машина» зіткнулася з обов'язковим збільшенням ентропії і перетином її до термодинамічної рівноваги в порівнянні з вже існуючою даністю, що сама ж і створила. Важливим тут є зміна місця людини в причинно-наслідкових відносинах в системі «людина-машина». Від суб'єктності до об'єктності.

Якщо брати людину як суб'єкта інформаційних систем, то системні процеси впорядкування інформації призводять до зниження інформаційної ентропії, відповідно: штучний інтелект (ШІ) – на 15-20%; Інтернет речей (IoT) – на 7-10%; Big Data - на 10-15%, тренувальні мережі типу DL або RL - на 20-25%, забезпечуючи

загальне зниження ентропії на $4,4 \div 6,1$ Дж/К. При цьому інформаційна система прагне до максимальної термодинамічної нерівноважності.

Але якщо прийняти людину як об'єкт впливу глобального інформаційного простору, то ті ж самі системні процеси призводять до невпорядкованості інформації. Вони сприяють зменшенню структуризації і зростанню невизначеності ГІП для людини як об'єкта впливу, підвищують ентропію людино-машинних систем, роблячи її порівнянною зі зростанням ентропії для багатьох природних явищ, а також зі зменшенням ентропії, характерної для біологічних систем, в тому числі і людини. При цьому інформаційна система, включаючи людину і, зокрема, її AI, прагне до мінімальної термодинамічної нерівноважності.

Сучасні моделі ГІП в якості об'єкта зниження ентропії передбачають дії людини щодо оптимізації алгоритмів передачі даних, форм когнітивної аналітики та розробки методів штучного інтелекту, наприклад, для раннього виявлення актуальних збоїв і загроз.

Фактично для людини захист від об'єктності на користь суб'єктності стає домінуючим у конкуренції між AI та людиною. В її основі лежить теза: «ми поки ще не знаємо, як змусити найдосконаліші системи штучного інтелекту поводитися так, як ми хочемо». Відсутність вирішення цих та інших подібних проблем для людини означає небезпеку втрати претензій на частину термодинамічного нерівноважності в природі на користь глобальних інформаційних систем, у тому числі зі штучним інтелектом.

Висновок

Людина вже давно почала програвати конкуренцію за термодинамічну нерівноважність в природі через низку факторів, пов'язаних з антропогенним впливом, а саме: зростання ентропії в техногенних системах, повільні темпи відновлення природних екосистем, виснаження невідновлюваних ресурсів, скорочення біорізноманіття. Виникнення глобального інформаційного простору зажадало перегляду ролі і функцій людини в таких системах, коли пріоритети в управлінні переходять від людини до суб'єкта з невичерпною інформацією, обсяги якої роблять їх незрівнянними з людським мозком навіть з урахуванням органів чуття і пізнання останньої. Людина починає поступатися своєю позицією суб'єктності і швидкості обробки інформації перед способами перерахування варіантів, характерних для штучних носіїв інформації – комп'ютерних мереж і штучного інтелекту. Відповідним чином, нові системи здатні самотійно трансформувати стани термодинамічної

нерівноважності в напрямку від людини до власних метало-металоїдних систем з низьким рівнем ентропії, мінімізуючи відомі дисипативні процеси в людино-машинних системах.

Література

- 1.Lasaga, A. C. (1981). Transition State Theory. Reviews of Geophysics. 1981. № 19(2), - P. 201–232.
2. Волошин В. С. Відходи та їх природа. Вид. СПД Самченко. Маріуполь-Київ, 2024. 630 с.
- 3.Волошин В. С. Щодо питання про місце людини на Землі. Варіант дослідження. XIX міжнародна конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення». 2023. Харків. С.118-130
- 4.Report of the International Telecommunication Union on information and communication technologies statistics : note / by the Secretary-General. 2024. <https://digitallibrary.un.org/record/515803?ln=ru&v=pdf>.