



Економічна теорія

Оксана МИХАЙЛОВСЬКА

**ГЛОБАЛЬНІ СЦЕНАРІЇ
РОЗВИТКУ СВІТОВОЇ ЕКОНОМІКИ
В КОНТЕКСТІ ТЕОРІЇ
ЕНТРОПІЙНИХ КОЛИВАНЬ**

Резюме

Проаналізовано основні тенденції еволюції глобальної економічної системи та її взаємодії з природною системою. Встановлено, що науково-технічний прогрес відкриває нові можливості заміни невідтворюваних природних ресурсів іншими їх видами, впроваджує нові екологічно безпечні технології і тим самим уникає переходу в фазу ентропійного коливного циклу.

Ключові слова

Глобальна економічна система, ентропійний коливний цикл, вертикальна інтеграція, руйнівні процеси, процеси самоорганізації.

Класифікація за JEL: F01.

© Оксана Михайловська, 2012.

Михайловська Оксана, докт. екон. наук, Інститут світової економіки і міжнародних відносин НАН України.

Постановка проблеми. У прогнозованому аспекті питання щодо режиму еволюції світової економічної системи є одним з найважливіших, оскільки відповідь на нього визначає, за якими закономірностями еволюціонуватиме світова економіка. Квазістаціонарний лінійний чи спіралеподібний розвиток, каскад біфуркаційних перетворень, коливання стабільних і нестабільних станів з перетвореннями, подібними до фазових переходів у фізиці, – це режими, в яких може відбуватися еволюція світової економічної системи та цивілізації в майбутньому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як окремий напрям економічної науки на основі синергетичної парадигми останніми десятиліттями доволі інтенсивно розробляється економічна синергетика, або фізична економіка, теоретичний базис якої побудовано на методології та математичних моделях точних і природничих наук, насамперед фізики. Проте, як справедливо зауважують російські дослідники Д. С. Чернавський, Н. І. Старков, А. В. Щербаков, такої «фізичної економіки» як цілісної науки ще не створено. Утім, зусиллями вищеназваних і деяких інших зарубіжних фахівців, переважно російських, цей напрям економічної науки нині інтенсивно розвивається.

Серед українських фахівців, які працюють у цьому руслі, слід відзначити таких: Л. Лиско, В. Решетило, В. П. Соловйов, О. Б. Шевчук, В. А. Вагурін, В. Д. Дербенцев, С. І. Дорогунцов, А. Н. Ральчук та ін.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Однак переважна більшість економістів донині працює за традиційними підходами, які становлять основу «ортодоксальної економіки» (термінологія за Р. Нельсоном, С. Уінтером). На нашу думку, це невипадково. Двоакість ситуації із застосуванням апарату синергетики під час дослідження економічних процесів та явищ полягає в тому, що в переважній більшості публікацій, присвячених цій проблематиці, використовують апарат синергетики формально-описово. У гіршому разі просто використовують терміни синергетики й інших наук як данину моді, без застосування власне синергетичної методології для пояснення сутності явищ і процесів, що відбуваються в соціально-економічних системах. Причому часто це трапляється навіть тоді, коли застосування синергетичного підходу є некоректним.

Метою статті є дослідження глобальних сценаріїв розвитку світової економіки в контексті теорії ентропійних коливань.

Основні результати дослідження. Взагалі щодо глобальної економіки виникає подвійна ситуація. Національні економіки стають більш відкритими, чому сприяє глобалізація світового господарства. Саме для відкритих систем можливими є процеси самоорганізації, які відбуваються переважно або внаслідок переходу системи у стан з високою ентропією та подальшої

кооперованої дії агентів, або за принципом самозбірки. Проте обидва типи самоорганізації передбачають відкритість системи. Процеси самоорганізації, які спостерігаються в окремих процесах глобальної економіки та її складових – національних економіках, підтверджують факт їх відкритості. Утім, глобальна економіка – це економічна система найвищого рівня. Постає питання: чи є вона відкритою? Це важливо, тому що для відкритих систем існують критерії, що визначають знак зміни ентропії у відкритій системі. Вони дають змогу визначити певні умови, з виконанням яких у системі обов'язково виникнуть процеси впорядкування та самоорганізації, а в разі невиконання – процеси дезорганізації [1, 2]. Це питання є принциповим, оскільки воно визначає, який режим розвитку (впорядкування чи послідовність хаотичних станів) визначатиме подальшу еволюцію світової економічної системи. Для замкненої системи ентропія, як відомо, не може зменшуватися (друге начало термодинаміки), а це означає, що система може еволюціонувати лише в режимі дезорганізації (або принаймні в режимі зі ступенем організованості, що не збільшується). Іншими словами, якщо система замкнена, то в ній неминує, рано чи пізно, виникнуть процеси дезорганізації.

Якщо розглядати $S(X)$ як ентропію рівноважного стану замкненої (ізолюваної) системи, то розмикання відповідає ситуації задавання додаткових умов. Тоді $S(X|Y)$ – ентропія стаціонарного стану після розмикання (система стає незамкненою), у результаті якого в системі виникли зміни, що описуються додатковою змінною Y . Відомо, що ентропія системи після розмикання не може бути більшою від ентропії замкненої системи [3]

$$S(X) > S(X|Y). \quad (1)$$

Розглянемо, як це пов'язано з глобальною економікою. Для цього скористаємося поняттям ентропостату. Під останнім розуміють більшу систему, яка взаємодіє з досліджуваною системою і в якій швидкість зміни значень параметрів і характеристик елементів набагато нижча за швидкість змін параметрів і характеристик досліджуваної системи.

До поняття ентропостату розглянемо за допомогою таких міркувань. Припустимо, що система 1, яка вивчається, взаємодіє з системою 2, разом вони становлять повністю замкнену систему. Згідно із законом збільшення ентропії, загальна система залишиться в рівновазі, якщо зміна ентропії в досліджуваній системі ΔS_1 дорівнюватиме зміні ентропії другої системи ΔS_2 з протилежним знаком.

Це дає підставу отримати два *основних правила керування порядком* у системі (у роботі [2] ці правила було названо «першим способом керування ентропійними закономірностями»).

1. Для збільшення порядку в системі потрібно збільшити ступінь її відкритості. Тоді новому значенню відповідатиме новий вищий критичний рівень

організації. У результаті в системі переважатимуть процеси впорядкування та самоорганізації, що підвищують її організацію до нового критичного рівня.

2. Для зменшення порядку в системі (зменшення організованості) потрібно зменшити ступінь її відкритості. При цьому знизиться критичний рівень, що спричинить переважання процесів, які дезорганізують систему до нового значення β .

Так, у фаховій літературі наводяться приклади, коли в державах, на кордонах яких посилюється пропускний режим (зменшується ступінь відкритості), відбуваються деструктивні процеси в економіці, культурі й інших сферах діяльності, на які поширюються обмеження щодо обміну із зовнішнім середовищем. Навпаки, послаблення пропускного режиму на кордонах (збільшення ступеня відкритості) супроводжується посиленням процесів організації [5].

Зі зміною ступеня відкритості системи остання залишає свій колишній стаціонарний стан і за рахунок тих чи інших процесів еволюціонує до нового. Проте з досягненням системою нового стаціонарного стану в ній можуть виникнути ентропійні коливання. Скористаємося теоремою І. Пригожина про мінімальне виробництво ентропії, відповідно до якої поблизу стаціонарного стану збільшення ентропії системи відбувається згідно з умовою [6]

$$\frac{\partial P}{\partial t} \leq 0, \quad (2)$$

де $P = \frac{\partial S}{\partial t}$ – виробництво ентропії в системі; рівність нулю відповідає стаціонарному стану.

Умова відображає той факт, що в процесах, які відбуваються зі збільшенням ентропії ($dS > 0$), екстремум функції P відповідає мінімуму ентропії.

Утім, звернемо увагу на важливу обставину: у системах, що взаємодіють з ентропостатом, можлива ситуація, коли виробництво ентропії стає негативним, тобто екстремум функції P може відповідати максимуму ентропії. Дійсно, з наведених критеріїв *зміни ентропії у відкритій системі (яка взаємодіє з ентропостатом)* випливає, що збільшення ступеня відкритості системи переводить її в новий стаціонарний стан з меншою ентропією: $S_{\beta_1} < S_{\beta_0}$, якщо $\beta_1 > \beta_0$. Тому такий перехід супроводжується зменшенням ентропії системи ($\Delta S < 0$). У цьому випадку виробництво ентропії P стає негативним і в умові виразу (2) змінюється знак. Зрозуміло, що можлива й протилежна ситуація: зменшення ступеня відкритості призводить до збільшення ентропії нового стаціонарного стану: $S_{\beta_1} > S_{\beta_0}$, якщо $\beta_1 < \beta_0$, при цьому $\Delta S > 0$, P – позитивна величина і в умові виразу (2) знак зберігається.

Запишемо нерівність (2) у вигляді рівняння, додавши деяку функцію $F(P, S)$:

$$\frac{\partial P}{\partial t} + F(P, S) = 0. \quad (3)$$

На рівняння (3) поширюються ті самі обмеження, що й на теорему Пригожина. Зокрема, воно виконується в області лінійних процесів. Останнє дає змогу знехтувати всіма доданками, окрім лінійних, у разі розкладання функції F в околі стаціонарного стану. У результаті рівняння (3) набуває вигляду

$$\frac{\partial^2 S}{\partial t^2} + \alpha \frac{\partial S}{\partial t} + \mu S = \mu S_\beta, \quad (4)$$

де $\alpha = \left(\frac{\partial F}{\partial P}\right)_{P_\beta}$; $\mu = \left(\frac{\partial F}{\partial S}\right)_{S_\beta}$ – часткові похідні функції F у стані, який характеризується певним ступенем відкритості системи β .

Якщо $\mu < 0$, то рівняння (4) має лише нестійкі стаціонарні розв'язки.

Якщо $0 < \mu < \frac{\alpha^2}{4}$, то вирішення цього рівняння є стійким і аперіодичним. У

разі якщо $\mu > \frac{\alpha^2}{4}$, стаціонарні розв'язки цього рівняння означають стійкі коливання навколо S_β (або, що те саме, навколо ΔS_β).

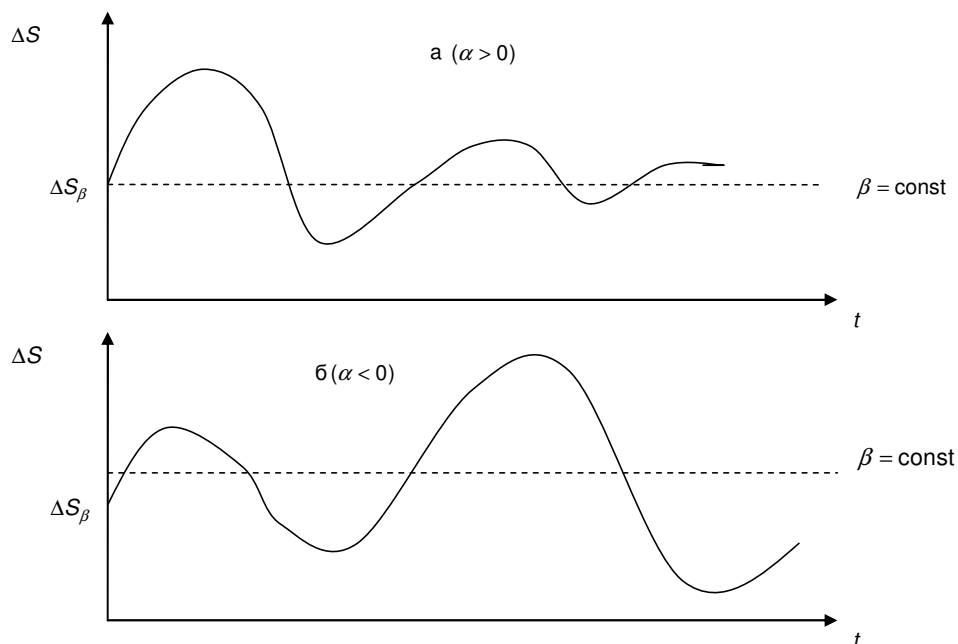
Якщо $\alpha > 0$, ентропійні коливання затухають (рис. 1, а). Коли $\alpha < 0$, амплітуда коливань із часом наростає (рис. 1, б).

З позицій синергетики причина виникнення ентропійних коливань пов'язана з фундаментальним положенням про те, що швидкість будь-якої взаємодії скінченна. У цьому випадку йдеться про те, що дії процесів самоорганізації та дезорганізації врівноважують одна одну лише на критичному рівні організації системи. Якщо рівень організації системи є нижчим чи вищим за нього, то вона «прагнути» до цього рівня, тобто в ній за рахунок різних механізмів зворотного зв'язку переважатимуть процеси самоорганізації або дезорганізації. Досягнувши критичного рівня, переважання процесів того чи іншого вигляду не зможе припинитися миттєво.

Отже, для режиму еволюції досліджуваної системи важливим є рівень її відкритості й організованості. Ці характеристики взаємопов'язані. У кожній системі, що взаємодіє із зовнішнім середовищем, є особливий рівень організації, названий критичним.

Рисунок 1

Ентропійні коливання навколо стаціонарного стану,
який характеризується відкритістю β



Джерело: розроблено автором згідно з [4].

Для характеристики ступеня відкритості світової економіки (з позиції її взаємозв'язків із природним середовищем) доцільно скористатися коефіцієнтом відкритості (впливу), який визначимо так:

$$k = \frac{n_{us}}{N}, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт широти зв'язку світової економіки з природним середовищем; n_{us} – кількість елементів природного середовища, з якими взаємодіє світова економічна система; N – кількість елементів природного середовища, з якими потенційно може взаємодіяти глобальна економіка.

Для кожного елемента природного середовища, з яким взаємодіє світова економічна система, введемо інтенсивність його використання (впливу):

$$I_m = \frac{V_m}{V_m^*}, \quad (6)$$

де I_m – інтенсивність використання m -го елемента природного середовища;

V_m – обсяг m -го елемента природного середовища, який використовується в глобальній економіці;

V_m^* – максимально можливий для використання у світовому господарстві обсяг m -го елемента природного середовища.

Тоді ступінь відкритості (впливу) світової економіки щодо природного середовища P визначимо у вигляді двопараметричної залежності $P(K, \{I_1, \dots, I_{n_{us}}\})$. Тобто показник P залежить від кількості елементів природного середовища, які використовує світова економічна система, та від набору інтенсивності їх використання.

Взаємодія означає використання тих чи інших елементів природного середовища в господарській діяльності. У цьому сенсі, чим більше таких елементів використовується, тим більшою мірою залежним від довкілля стає світове господарство. Адже у випадку дефіциту цих елементів чи переходу їх у якийсь новий стан «нормальний» розвиток світового господарства унеможлиблюється. З іншого боку, використання елементів природи є не чим іншим, як впливом глобальної економічної системи на навколишнє середовище. До цього додається вплив на навколишнє середовище як природне для існування людини. Якщо розглядати історичний ракурс взаємодії економіки та природного середовища, то суттєві тенденції до посилення впливу на останнє з боку світового господарства позначилися в період розвитку мануфактурного виробництва та промисловості. За тих часів відбулося швидке збільшення масштабів використання природних ресурсів, переважно за рахунок мінеральної сировини та палива. Паралельно зросли використовувані земельні, водні, лісові ресурси. В. І. Вернадський зазначає, що до XX століття людство використовувало у виробництві 19 хімічних елементів, а на початку XX століття кількість використовуваних хімічних елементів становила 59 [7]. За останнє століття динаміка цього процесу суттєво прискорилося, й у XXI ст. у світовому господарстві використовують майже всі хімічні елементи таблиці Менделєєва. Таким чином, можна наближено оцінити, що:

$$\frac{k_{1900}}{k_{2000}} \approx 3 - 4 \text{ рази}, \quad (7)$$

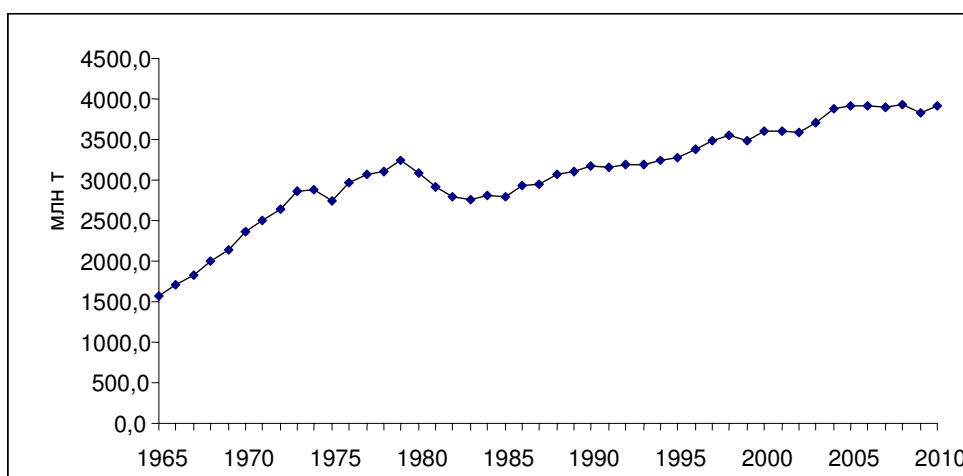
де k_{1900} , k_{2000} – коефіцієнти широти впливу світової економіки на природне середовище, відповідно, на початок XX і XXI століть.

Отже, коефіцієнт широти впливу світової економіки на природне середовище неможливо оцінити точно, проте можна впевнено констатувати наявність тенденції до його суттєвого (в 3–4 рази за століття) зростання.

До цього слід додати збільшення масштабів використання, тобто зростання коефіцієнтів інтенсивності використання елементів природного середовища. Наприклад, за останні 45 років видобуток нафти зріс більш ніж удвічі (рис. 2).

Рисунок 2

Динаміка світового видобутку нафти



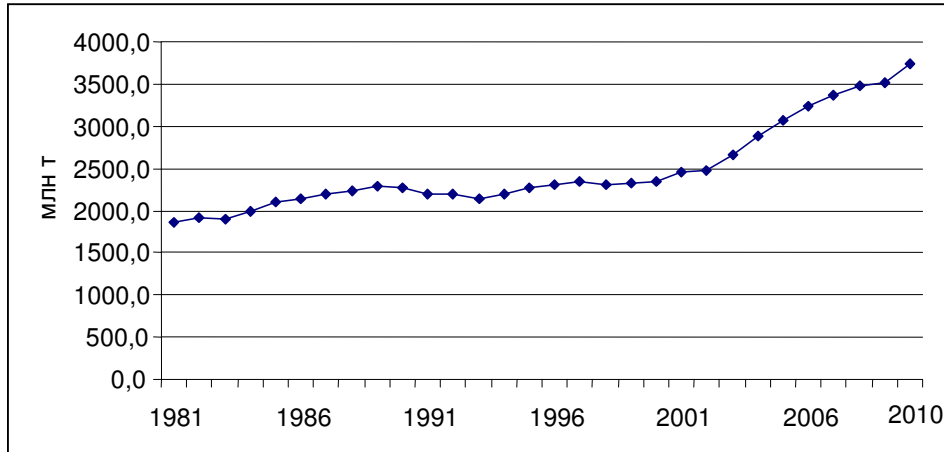
Джерело: побудовано автором згідно з [8].

Якщо в 1965 році у світі було видобуто 1567,3 млн т нафти, то в 2010 році – 3913,7 млн т. І хоча на цьому часовому проміжку були періоди зменшення видобутку нафти, глобальною тенденцією є зростання споживання цього природного ресурсу.

Аналогічна тенденція існує і щодо видобутку вугілля (рис. 3).

Рисунок 3

Динаміка світового видобутку кам'яного вугілля в 1981–2010 рр.



Джерело: побудовано автором згідно з джерелом [8].

У 1981 році світовий видобуток кам'яного вугілля становив 1852,7 млн т. За три десятиріччя він подвоївся й у 2010 році досяг 3731,4 млн т. Таким чином, на прикладі нафти та кам'яного вугілля можна дійти висновку, що у глобальному масштабі відповідні коефіцієнти інтенсивності впливу становлять (не враховуючи зміни розвіданих запасів, які збільшилися незначно):

$$\text{для нафти: } \frac{I_{oil_2010}}{I_{oil_1965}} \approx 2,5 \text{ рази;}$$

$$\text{для кам'яного вугілля: } \frac{I_{coad_2010}}{I_{coad_1981}} \approx 2 \text{ рази.}$$

Як бачимо, коефіцієнти інтенсивності впливу (використання) вищезазначених елементів природи у світовій економіці зросли надто динамічно.

Загалом з природного середовища щороку видобувається приблизно 35–40 млрд т різних матеріалів і продуктів. У минулому столітті інтенсивно знищували ліси для промисловості та розширення сільськогосподарських угідь. На початку XXI століття з усієї площі суші майже 45 млн кв. км, або близько 1/3, уже зайнято орними, сінокісними, пасовищними угіддями, сада-

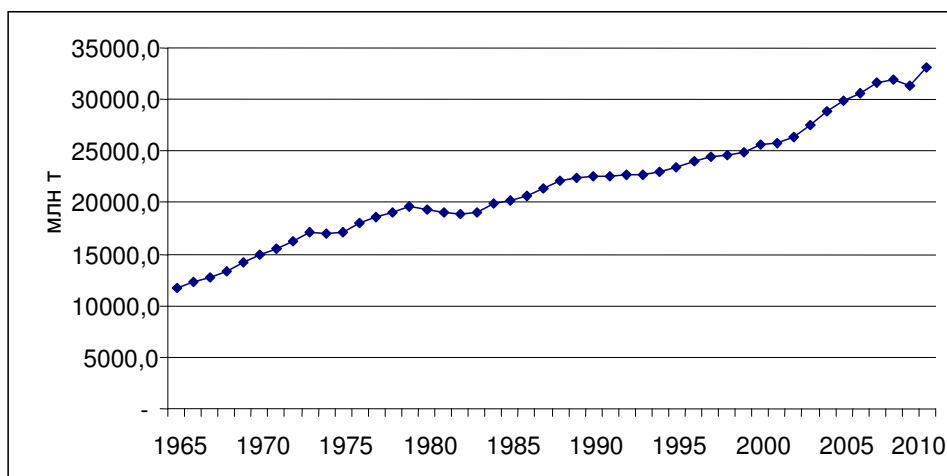
ми та плантаціями. Ліси займають понад 40 млн км² усїєї суші, з них велика частина розробляється (щороку заготовлюють понад 2 млрд м³ деревини).

За рахунок спалювання палива в рік зв'язується близько 15–20 млрд т вільного кисню атмосферного повітря, а кількість води, яку щороку вибирають із джерел, оцінюється більше ніж у 560 млрд т (які частково безповоротно втрачаються, а частково скидаються як стічні води).

Зворотним процесом є генерування великої кількості двоокису вуглецю (вуглекислого газу), який емітується в навколишнє середовище (рис. 4).

Рисунок 4

**Динаміка викидів двоокису вуглецю в атмосферу
внаслідок функціонування світового господарства**



Джерело: побудовано автором згідно з джерелом [8].

Якщо в 1965 році сумарна емісія вуглекислого газу у світі становила 11 744,7 млн т, то в 2010 році – 33 158,4 млн т. Менш ніж за півстоліття інтенсивність впливу на навколишнє середовище через цей канал майже потроїлася.

Вищенаведене вказує на те, що вплив з боку глобальної економічної системи на навколишню природну систему доволі великий. Ми не можемо коректно обґрунтувати, чи досягла критичного рівня відкритість світової еко-

номіки відносно природної системи, утім, принаймні вважаємо, що за відкритістю (впливом) на природну систему вона впевнено до нього наближається. Своєю чергою, це означає, що масштаб залежності світової економіки від цього елемента природи зростає.

Слід додатково зауважити, що потреби світового господарства в природних ресурсах швидко збільшуються. За оцінками, для доведення в перспективі споживання первинних матеріалів і продуктів населенням Землі до сучасного рівня їх споживання в найбільш розвинених країнах потрібно потроїти сумарний обсяг їх видобутку, а щодо найважливіших видів корисних копалин (паливо, метали) – збільшити їх видобуток у понад 10 разів. З урахуванням збільшення населення та подальшого зростання рівня питомих витрат первинних матеріалів і продуктів, що відбуваються, на душу населення загальна потреба в природних ресурсах буде набагато вищою.

Це означає, що коефіцієнти інтенсивності використання елементів природної системи світовим господарством зростуть приблизно в 10 разів.

Нині можна вважати однозначно доведеним, що вплив світової економіки на довкілля дедалі зростає.

Це має прямий зв'язок із режимом розвитку глобальної економічної системи. Адже це означає, що природну систему вже не можна вважати ентропостатом, оскільки зміною ентропії в ній знехтувати неможливо. А взаємозв'язок систем «глобальна економіка» – «природне середовище» перейде в режим так званих ентропійних коливань. Суть цього режиму полягає в тому, що з перевищенням критичного рівня впливу однієї системи на іншу (це означає зростання рівня організованості в природному середовищі) в ньому підвищується ймовірність подій, які зумовлюють збільшення ентропії. Тобто події, пов'язані зі збільшенням ентропії, починають відбуватися частіше. Система переходить у стан ентропійних коливань.

Постає питання: чому ентропійні коливання розглядають як синергетичний ефект? Відповідь доволі проста. У даному разі є всі ознаки класичного синергетичного ефекту. Система віддаляється від стану рівноваги. Внаслідок скооперованої дії (різних процесів) вона набуває нових властивостей (змінюється режим). Наголосимо, що ця зміна є ймовірнісною. Так, якщо переважання процесів дезорганізації змінюється на режим переважання процесів дезорганізації, це відбувається саме в імовірнісному аспекті: ймовірність розвитку процесів дезорганізації вища, ніж процесів самоорганізації.

Висновки. Слід констатувати, що світова економічна система наближається до критичного рівня організованості. А внаслідок посилення її впливу на природну систему до такого самого (але свого) рівня наближається і природна система. У результаті відбуваються зміни в еволюції обох взаємопов'язаних систем. Стверджуємо, що в результаті цих змін синергетичні закономірності виходять на перший план, вони фактично починають формувати

ти основні тенденції еволюції глобальної економічної системи та її взаємодії з природною системою.

Наголосимо, що стихійні лиха (повені, землетруси, урагани), техногенні катастрофи (екологічні кризи, аварії, пожежі тощо), фінансові потрясіння, соціальна та політична напруга мають загальну властивість – за природою вони є руйнівними процесами, тобто збільшують ентропію середовища. Проте зміна ентропії регулюється фундаментальними законами природи. Тому, на нашу думку, в глобальній економіці та природній системі спостерігається розвиток деякої небезпечної тенденції до переважання руйнування.

Висновки Форрестера [10] та його послідовників привернули увагу світової громадськості та наукового співтовариства до глобальних проблем. Вирішення їх вимагає перегляду парадигми розвитку світової економіки та суспільства, передусім щодо природних ресурсів. Адже наявний стан заводиться у безвихідь: за Форрестером – внаслідок вичерпаності природних ресурсів, згідно з теорією ентропійних коливань – внаслідок дедалі більшої кількості ресурсів, потрібних для протидії руйнівним процесам.

2. Можливий інший режим еволюції глобальної економічної системи та цивілізації загалом. З точки зору синергетичного підходу такий шлях означає підвищення ступеня відкритості економіки щодо природного середовища. Фактично це високий ступінь інтегрованості економіки у природне середовище. У поняттях класичної науки на роль такої нової парадигми претендує ідея «стійкого розвитку» (від англ. *sustainable development*, що буквально перекладається як «узгоджений, взаємопідтримуючий розвиток»), уперше озвучена в 1986 р. Гру Харлемом Брундтландом у доповіді «Наше спільне майбутнє». Саме з цього часу в засобах масової інформації вживають термін *sustainable development*, під яким розуміють модель розвитку, за якої досягають задоволення життєвих потреб нинішнього покоління без зменшення такої можливості для майбутніх генерацій. Якщо розглядати цю тезу в контексті ентропійних коливань, то вона передбачає утримання природного середовища у стані, який був би незмінним відносно критичного рівня організації. Концепція стійкого розвитку здобула підтримку в 1992 р. на конференції ООН у Ріо-де-Жанейро, де було ухвалено Декларацію з навколишнього середовища та розвитку – декларацію належних заходів для проведення в життя стратегії стійкого розвитку.

Припинення тенденції до досягнення критичного рівня впливу світової економіки на природне середовище та недопущення її переходу в режим «стримування процесів, що підвищують ентропію», у XXI столітті передбачає зміщення акцентів на раціональне використання природних ресурсів. У цьому аспекті проявляється ще один канал впливу науково-технічного прогресу на динаміку глобального економічного розвитку. Адже саме науково-технічний прогрес відкриває нові можливості заміни невідтворюваних природних ресурсів іншими їх видами, зокрема різного роду синтетичними матеріалами, впроваджує нові екологічно безпечні технології, що дадуть змогу зменшити вплив

світового господарства на природну систему і тим самим уникнути переходу у фазу ентропійного коливного циклу, яка характеризується більшою ймовірністю розвитку руйнівних процесів, ніж процесів самоорганізації.

Література

1. Співак В. М. Другий тип глобалізації: проблеми та перспективи дослідження / В. М. Співак // Вісник ДАКККіМ. – 2010. – № 3. [електронний ресурс] – режим доступу: – http://www.nbu.gov.ua/portal/Soc_Gum/Vdakk/2010_3/38.pdf.
2. Прангишвили И. В. Энтропийные и другие системные закономерности: вопросы управления сложными системами / И. В. Прангишвили. – М. : Наука, 2003. – С. 70.
3. Климентович Ю. Л. Статистическая физика / Ю. Л. Климентович. – М. : Наука, 1982. – С. 55.
4. Шаповалов В. И. Законы синергетики и глобальные тенденции / В. И. Шаповалов, Н. В. Казаков // Общественные науки и современность. – 2002. – № 2. – С. 143.
5. Попов В. Эволюция человечества и экономика / В. Попов, И. Крайнюченко // Общество и экономика. – 2006. – № 6. – С. 186.
6. Пригожин И. От существующего к возникающему / И. Пригожин. – М. : Наука, 1985. – С. 72.
7. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский; ред. А. Яншин; РАН. Комиссия по разработке научного наследия В. И. Вернадского, Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского. – М. : Наука, 1994. – С. 28.
8. BP Statistical Review of World Energy – 2011 (June) [електронний ресурс] – режим доступу: http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/spreadsheets/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.xls.
9. Number of disasters reported 1900–2010 [електронний ресурс] – режим доступу: http://www.emdat.be/sites/default/files/Trends/natural/world_1900_2010/1a.jpg.
11. Форрестер Дж. Мировая динамика: Пер. с англ. / Дж. Форрестер. – М. : АСТ; СПб. : Terra Fantastica, 2003. – С. 124–125.