

Моделювання соціально-економічних систем і розрахунків їх динамічних показників на основі аналогій

Ярослав Вихлюк

К. ф.-м. н., доцент, НУ «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, e-mail: vyklyuk@ukr.net

Роботу присвячено розробленню методів прогнозування структури складних соціальних процесів на основі вивчених у фізиці твердого тіла методів фрактального росту кристалів, а також методів нечіткої логіки. До таких процесів можна віднести функціональне перевлаштування міст і населених пунктів, пов'язаних з активним розвитком різних форм туризму, адаптацією супутньої інфраструктури й ін. Встановлено атрибутивну аналогію між фізичними фракталами та соціально-економічними системами. Наведено й обґрунтовано методологію моделювання розвитку соціально-економічних систем методами нечіткої логіки та фрактального росту кристалів. Запропоновано метод моделювання випаровування в процесі росту кристала, який дозволив пояснити явища, що спостерігаються в реальних соціально-економічних системах. Цю методологію апробовано під час моделювання структури відомого курорту Карпат — м. Ворохти. Проведений експеримент показав, що у процесі еволюції системи спостерігається точка стагнації, після якої зменшується рівень загальної конкуренції відкритої системи, що підтверджує факт самоорганізації. Встановлено функціональну аналогію між ентропією кристала та середнім рівнем конкуренції соціально-економічної системи, а також між кінетичною енергією та рівнем конкуренції.

Ключові слова: фрактал, атрактор, фрактальна розмірність, самоорганізація, стагнація, конкурентоспроможність.

Вступ. Сьогодні з'являється все більше наукових праць, присвячених застосуванню фізичних законів для моделювання економічних і соціальних систем. Зокрема, в роботі [1] розглянуто формалізовані методи прийняття рішень щодо керування соціальними системами, які ґрунтуються на використанні спінових моделей Ізінга. Досліджувалися питання оцінки напруженості стану системи й елітарної користності керуючих впливів, спрямованих на покращення стану соціальної системи. Використання трипараметричної моделі Лоренца дозволило змоделювати функціонування вищих навчальних закладів як самоорганізованих систем [2]. Застосування законів термодинаміки для дослідження екосистем і соціально-економічних систем дозволило показати, що ці системи слід розуміти як термодинамічно-відкриті [3]. Використання методів фізико-математичного моделювання дало змогу означити ентропію й оцінити ризики функціонування соціально-економічної системи [4]. Зазначимо, що використання термодинамічних законів показало високий рівень їх адекватності і в моделях управління містами [5].

Метою роботи є симуляція розвитку соціально-економічних систем для виявлення функціональних аналогій між явищами фрактального росту кристалів і соціально-економічних систем.

1. Математична модель

Розвиток GPS (Global Positioning System) технологій, різноманітних інтернаціональних програм космічного зондування та фотографування Землі, створення цифрових карт відкривають великі можливості для дослідження та розробки наукових підходів у сфері геоінформатики, геоінженерії тощо. Можна відзначити, що фотографії макрорівня — населених пунктів й елементів інфраструктури — мають багато спільних рис із фізичними фракталами (рис. 1), а саме, яскраво виражені центри зародження, дендритний ріст і наявність упорядкованої структури в околі центру. Це зумовлено тим, що процеси росту згаданих об'єктів мають багато спільних рис, зокрема, з ростом фізичного кристала, який починається на затравці (атракторі). Роль атракторів соціально-економічних систем виконують, наприклад, гірськолижні витяги, розважальні центри, пляжі, виробничі підприємства тощо. Деформацію кристалів, зазвичай, зумовлено зовнішньою дією, часто потенціального характеру. Роль потенціального поля в соціальних процесах належить, так званому, «полю привабливості», яке залежить від віддалі, інфраструктури, рельєфних, юридичних та інших аспектів. Еволюцію фізичних фракталів зумовлено агрегуванням вільних атомів (молекул) на конденсованому кластері та спонтанному «випаровуванні» атомів, що мають слабкі міжмолекулярні зв'язки. Нові соціально-економічні елементи теж виникають у безпосередній близькості від сусідів. Зникнення згаданих елементів можна пов'язати з конкурентною боротьбою.

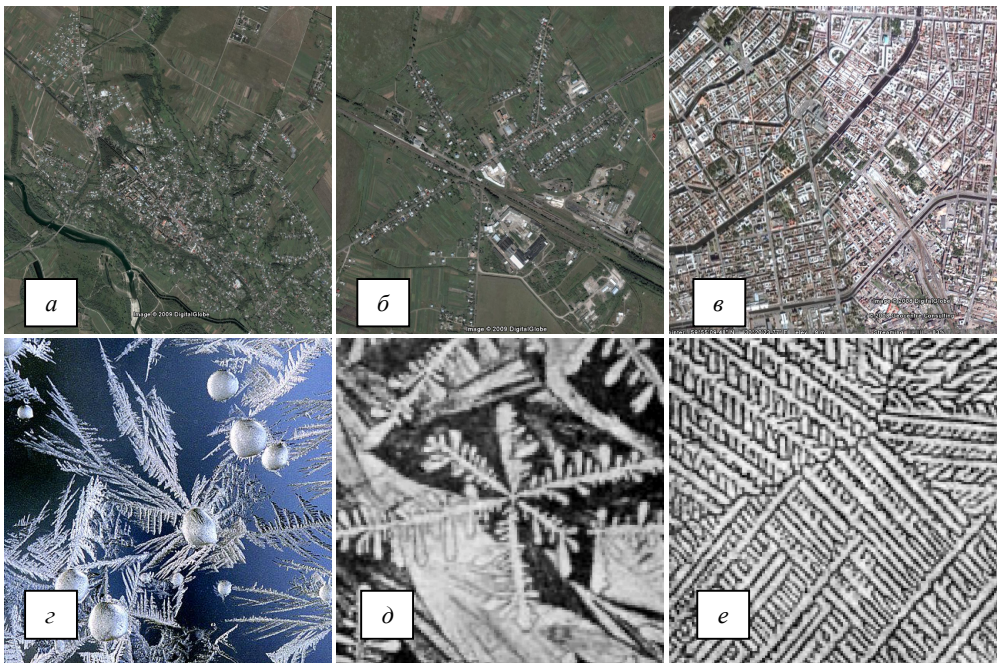


Рис. 1. а) с. м. т. Мамаївці, б) околиці с. м. т. Сторожинець, в) центральна частина міста Санкт-Петербурга, з, д) кристали льоду, е) мікроструктура нікелевого суперсплаву ЖС32 – ВІ [6]

Атрибутивна аналогія між «власними» властивостями фізичних фракталів і соціально-економічних систем

Явище, процес	Фізичні фрактали	Соціально-економічна система
Атрактор	Затравка, неоднорідність, дефект	Історико-культурна спадщина, гірськолижні витяги, розважальні центри, пляжі, виробничі підприємства тощо
Дендритний ріст	Хаотичний (тепловий) рух вільних частинок з агрегацією на зростаючому кластері	Нові соціально-економічні об'єкти або новобудови з'являються в безпосередній близькості від забудов чи існуючої інфраструктури
Деформування в процесі росту	Зовнішні дії потенціального типу	Привабливість (атрактивність) території, наявна інфраструктура
Випаровування	Флуктуація енергії атомів на поверхні контакту	Вилучення з бізнесу об'єктів із низьким рівнем конкурентоспроможності
Зменшення кінетичної енергії частинок [8]	Опір середовища	Інвестиційне сприяння розвитку регіону
Дифузія	Переміщення атомів	Переміщення рекреантів
Теплопровідність	Здатність переносити теплову енергію	Інформаційні та фінансові потоки

Математичний апарат моделювання росту фізичних фракталів на сьогодні є добре досліджений. Тому розглядатимемо фізичний фрактал (A) як базис (аналог) для моделювання соціально-економічної системи (B). Для подальшого дослідження на основі аналогій, виділимо, так звані, «власні» властивості об'єктів A та B , тобто властивості, які завжди притаманні об'єкту [7]. Це, перш за все, фізичні, хімічні та біологічні властивості. До власних властивостей не належать ситуативні зв'язки об'єктів з іншими об'єктами, а також ролі (функції) об'єктів у різних процесах. Позначимо об'єкт (властивість) a , що входить до складу (є «власною» властивістю) об'єкта b , як $a(b)$. Між об'єктами a та b існує атрибутивна аналогія, якщо $\exists p(a)\exists h(b)(p(a) \approx h(b))$ (див. табл.). У таблиці наведено атрибутивні аналогії, більшість із яких є інтуїтивно зрозумілою. Зазначимо, що дослідження таких властивостей, як інертність і зменшення кінетичної енергії, було проведено у праці [8].

Існування аналогів властивостей і схожість об'єктів між собою (рис. 1) дозволяють висунути гіпотезу про існування між ними функціональної аналогії. Позначимо деяку функцію i об'єкта ξ як $F_i(\xi)$. Існування функціональної аналогії передбачає виконання умови: $\exists F_i(A), \exists F_j(B), (F_i(A) \approx F_j(B))$.

Для встановлення функціональних аналогій потрібно змоделювати ріст соціально-економічної системи методами фрактального росту кристалів і дослідити функціональні залежності отриманого фрактала.

Алгоритм моделювання росту населених пунктів методами фрактального росту кристалів такий [9].

Визначення вхідних параметрів та обмежень. Використовуючи сучасні геоінформаційні системи, визначають географічні координати атракторів (табл.), вхідні параметри потенціалу й обмеження. Залежно від типу соціально-економічної системи, параметри потенціального поля привабливості, що впливатиме на деформацію фрактала, будуть різні. Наприклад, інвестиційна привабливість території може залежати від наявної інфраструктури, територіальних особливостей тощо.

Привабливість туристично-рекреаційної системи для туриста визначатиметься, в основному, наявністю швидкого сполучення з атрактором, заради якого він приїхав.

Розрахунок потенціального поля. Як було показано раніше [10], потенціальне поле привабливості зручно описати з допомогою апарату нечіткої логіки [11].

У загальному випадку потенціал U записуємо так

$$U = F(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де x_i — вхідні параметри, які конкретизуються далі.

Як засвідчили попередні дослідження [8, 9], найкращий рівень точності показав алгоритм нечіткого виведення Сугено [11]. За Сугено необхідно побудувати нечітку базу знань, кортежі якої матимуть вигляд [11]

$$\begin{aligned} (x_1 = \tilde{a}_{1j} \Theta_j \ x_2 = \tilde{a}_{2j} \Theta_j \dots \Theta_j \ x_n = \tilde{a}_{nj}) \rightarrow \\ \rightarrow y_j = b_{j0} + b_{j1}x_1 + b_{j2}x_2 + \dots + b_{jn}x_n, \quad j = \overline{1, m}, \end{aligned} \quad (2)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n — вхідні, так звані, «лінгвістичні змінні»; \tilde{a}_{ij} — нечіткий терм, яким оцінюється змінна x_i в j -му правилі; Θ_j — логічна операція, що пов'язує фрагменти антецедента j -го правила; \rightarrow — нечітка імплікація; $b_{j0}, b_{j1}, \dots, b_{jn}$ — деякі дійсні числа, що формують висновки j -го правила y_j ; n — кількість вхідних параметрів; m — кількість елементів нечіткої бази знань.

Ступінь належності вхідного вектора $\mathbf{X}^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ до висновків нечіткої бази знань y_j визначають таким чином

$$\mu_{y_j}(\mathbf{X}^*) = \mu_j(x_1^*) \chi_j \mu_j(x_2^*) \chi_j \dots \chi_j \mu_j(x_n^*), \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

де $\mu_j(x_i^*)$ — функція належності входу x_i нечіткому терму \tilde{a}_{ij} ; $\mu_{y_j}(\mathbf{X}^*)$ — функція належності виходу y_j ; χ_j — t -норма.

У результаті нечіткого виведення для вхідного вектора \mathbf{X}^* розраховуємо нечітку множину

$$\tilde{y} = \left(\frac{\mu_{d1}(\mathbf{X}^*)}{d_1}, \frac{\mu_{d2}(\mathbf{X}^*)}{d_2}, \dots, \frac{\mu_{dm}(\mathbf{X}^*)}{d_m} \right), \quad (4)$$

де множина нечітких термів $\{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ — носій нечіткої множини \tilde{y} .

Вихідне значення y отримують у процесі дефазифікації \tilde{y} . За алгоритм дефазифікації в роботі використано зрівноважене підсумовування [11]

$$y = \sum_{j=1}^m \mu_{y_j}(\mathbf{X}^*) y_j, \quad (5)$$

де y — нечіткий висновок.

Розрахунок інтегрального просторового розподілу густини потенціального поля привабливості проводимо методами фізики твердого тіла [12].

Ініціалізація центрів кластеризації. Ініціалізуємо нульову матрицю \mathbf{F} , що покриває досліджуваний регіон. Географічні координати атракторів переводимо в координати матриці \mathbf{F} . Відповідним вузлам матриці присвоюємо значення «1». Одиничне значення вузла матриці визначає агреговану частинку.

Моделювання фрактального росту. Моделювання фрактального росту центральної частини населених пунктів проводимо модифікованим методом «випадкового дощу» [13]. Кожна частинка стартує з випадкової точки та рухається випадковою хордою, агрегуючи з лінією основи або кластером, що зростає.

Імовірність агрегації визначається як імовірність настання двох незалежних подій, а саме: наявність поруч агрегованої частинки та «можливість» агрегації в заданій точці, зумовлену нормованим потенціальним полем $U(x, y)$. Агрегація частинок відбувалася лише у вузлах квадратної ґратки. Тому приймається, що ймовірність $P_a(x, y)$ перебування поруч із рухомою частинкою агрегованого кластера дорівнює 1, якщо в сусідній уздовж грані клітинці розташований агрегований атом; 0,5 — якщо агрегований атом розташований поруч на діагоналі; 0,01 — в інших випадках. Тоді ймовірність агрегації частинки визначаємо так

$$P(x, y) = U(x, y) \cdot P_a(x, y). \quad (6)$$

Ненульову ймовірність агрегації $P_a(x, y)$ в області, у найближчому околі якої відсутні агреговані частинки, можна обґрунтувати тим, що у фізичних кристалах агрегування відбувається тільки на атракторах. У соціально-економічних системах спостерігається виникнення нових атракторів на відстані від кластеру, що росте, наприклад, створення нового комплексу на базі вже побудованих будинків чи надання послуг зеленого туризму місцевими жителями.

У випадку існування n центрів кластеризації для кожного центра визначається його нормована вага w_i [14], наприклад, відносна кількість людей, які відвідали атрактори за визначений період часу

$$w_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad (7)$$

де S_i — кількість людей, які відвідали i -ий об'єкт.

Визначальна роль під час моделювання фрактального росту належить випаровуванню [16]. Випаровуються, зазвичай, поверхневі атоми, які внаслідок флуктуацій хаотичного руху молекул отримують енергію, достатню для подолання

міжмолекулярних зв'язків кристалічної ґратки. У соціально-економічних системах випаровування можна інтерпретувати як вихід із бізнесу об'єктів, що не витримали конкуренції. Тобто конкуренція — обернена величина до сили міжмолекулярної взаємодії. Кількість оточуючих агрегованих частинок (N_d), за якої стає можливе випаровування, можна інтерпретувати як конкурентоспроможність об'єктів. Можна прийняти, що ймовірність випаровування зменшується з наближенням до центру атрактора. Справді, в реальних системах ймовірність виживання об'єктів із однаковим рівнем конкуренції вища там, де більші грошові потоки й атрактивність, тобто в околах атракторів, в областях із високим потенціальним полем.

Згідно цих міркувань випаровування можна змоделювати так: якщо в ході росту атрактора «прозора» частинка потрапляє в область, оточену N_d агрегованими частинками, то з ймовірністю p_d частинка випаровується [13]

$$p_d = \begin{cases} 1 - d \cdot U(x, y), & N \geq N_d, \\ 0, & N < N_d, \end{cases} \quad (8)$$

де d — емпіричний коефіцієнт випаровування, N — кількість сусідніх агрегованих частинок, N_d — кількість оточуючих агрегованих частинок.

Подання результату моделювання. Отримана матриця проектується на площину у вигляді точкового графіка. Зазвичай, для кращої наочності отриманих результатів, координати ненульових комірок матриці переводять у географічні координати досліджуваного регіону.

2. Комп'ютерний експеримент

Для апробації моделі вибрано відоме курортне містечко українських Карпат — Ворохту (рис. 2). Як перше наближення під час розрахунку потенціального поля за вхідні параметри нечіткої моделі, яка ґрунтується на алгоритмі нечіткого виведення Сугено, було вибрано координати гірськолижних витягів, віддалі до доріг і шлях дорогою до найближчого атрактора. Особливості рельєфу не враховували. Під час побудови нечітких продукційних правил використовували експертні оцінки, надані відділом із питань туризму Чернівецької обласної державної адміністрації.

Розрахунки методом модифікованого «випадкового дощу» проводилися згідно описаних вище наближень. У ході експериментів досліджували рух 100 000 частинок. Приймали такі емпіричні параметри моделі: ймовірність агрегації частинки на віддалі від атрактора $P_{a0} = 0,1$; рівень конкурентоспроможності $N_d = 6$; емпіричний коефіцієнт випаровування $d = 1$.

На рис. 3 подано прогнозовану фрактальну структуру Ворохти, яка складається близько з 21 000 агрегованих частинок. Для порівняння на рис. 2 наведено світліну даної місцевості з космосу. Внаслідок випаровування кількість агрегованих частинок є менша від N_m .

Динаміку зміни «власних» властивостей соціально-економічної системи в околі атракторів ілюструють криві на рис. 4. На початковому етапі росту спостерігаємо різке зростання як кількості агрегованих частинок, так і частинок із високим рівнем конкуренції. Після досягнення рівня насичення загальна кількість

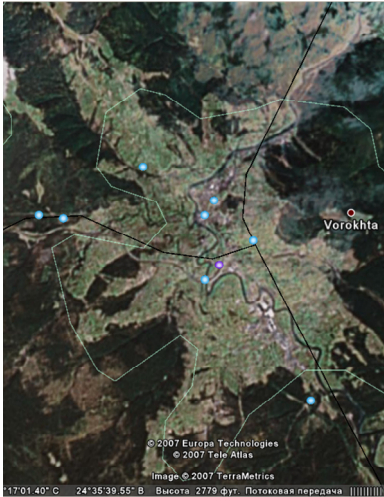


Рис. 2. Ворохта (світлина з космосу)

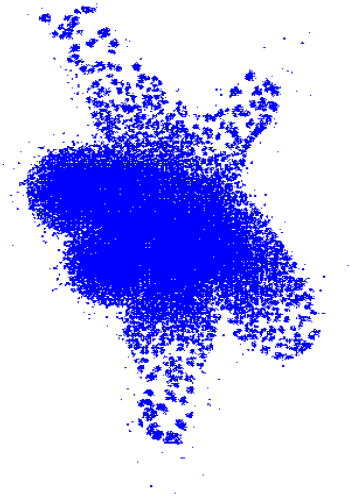


Рис. 3. Прогнозована фрактальна структура Ворохти

агрегованих частинок залишається практично незмінною з часом. Це означає, що процеси випаровування й агрегації компенсують один одного. На противагу цьому, спостерігаємо флуктуації кількості елементів із високим рівнем конкуренції N_c (рис. 4б). На графіку присутня яскраво виражена точка стагнації, після досягнення максимуму кількість N_c поступово спадає.

Зменшення N_c можна інтерпретувати як явище постійного зменшення рівня конкуренції в довгоіснуючих системах. Відносна кількість частинок із високою конкуренцією в точці стагнації складає близько 29 %. У процесі еволюції системи цей показник спадає до 18 %, тобто зменшується більше, ніж на третину. Слід відзначити, що зменшення N_c відбувається на фоні незмінної загальної кількості

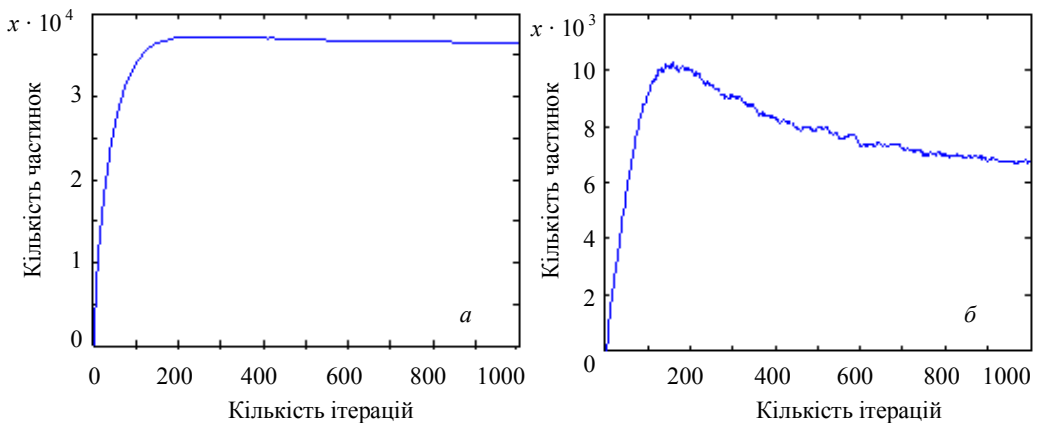


Рис. 4. Динаміка (а) зміни кількості агрегованих частинок і (б) кількості частинок із високим рівнем конкуренції від ітерацій алгоритму

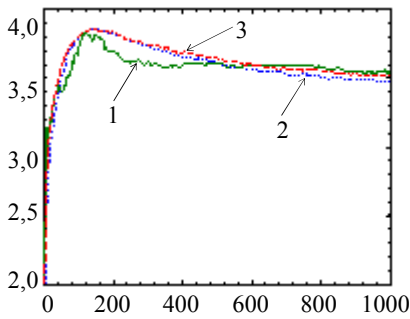


Рис. 5. Залежність (1) ентropії за формулою Больцмана, (2) середнього рівня конкуренції, (3) термодинамічної ентropії системи від кількості ітерацій алгоритму

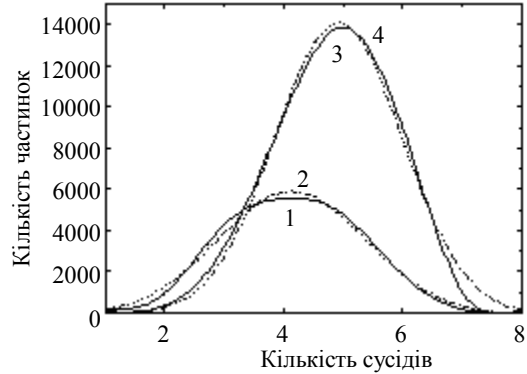


Рис. 6. Залежність кількості частинок від рівня конкуренції (1) — 100000 ітерацій, (3) — момент стагнації (2), (4) — апроксимація розподілом Максвелла

агрегованих частинок N_{ag} . Це можливо лише тоді, коли внутрішня структура фрактала стає більш симетричною, тобто хаотичні процеси агрегації та випаровування призводять до самоорганізації системи. У термодинаміці мірою «порядку системи» є ентropія

$$S = k \ln \Omega, \tag{9}$$

де k — постійна Больцмана, Ω — кількість мікростанів, які можливі в цьому макростані системи.

Для визначення кількості мікростанів системи отриману матрицю \mathbf{F} ділили на підматриці розміром 5×5 і проводили аналіз можливих станів. Під станом будемо розуміти кількість агрегованих частинок і їх просторову конфігурацію. На рис. 5 подано графіки залежності ентropії системи, обчисленої на основі формули (9), і середнього рівня конкуренції системи залежно від кількості ітерацій алгоритму. З рисунку видно, що обидві криві досягають максимуму, після якого спостерігаємо асимптотичний спад. Положення максимумів кривих та асимптоти добре узгоджуються між собою. Зменшення ентropії пояснюється тим, що система є термодинамічно відкрита. Отже, можна констатувати наявність функціональної аналогії між середнім рівнем конкуренції й ентropією системи.

Криві на рис. 6 ілюструють залежність кількості частинок від рівня конкуренції. Криві добре апроксимуються розподілом Максвелла. Як відомо, в термодинаміці розподіл частинок за внутрішньою чи кінетичною енергією й іншими динамічними показниками описується залежністю Максвелла [16]. Отже, можна зробити припущення про наявність функціональної залежності між кінетичною енергією в кристалі та рівнем конкуренції у соціально-економічній системі.

Висновки. У роботі досліджено динаміку основних фрактальних характеристик в околі атратора в процесі еволюції системи. Встановлені атрибутивна та структурна аналогії між фізичними фракталами та соціально-економічними системами.

На основі аналогії опису випаровування в процесі росту кристала, запропоновано метод моделювання, який дозволив пояснити явища, властиві реальним соціально-економічним системам. Зокрема, в процесі еволюції спостерігається точка стагнації, після якої зменшується рівень загальної конкуренції відкритої системи, що підтверджує факт самоорганізації системи. Встановлено функціональну аналогію між ентропією кристала та середнім рівнем конкуренції соціально-економічної системи, а також між кінетичною енергією та рівнем конкуренції.

Література

- [1] *Згуровский, М. З.* Методы принятия решений в социальных системах на основе спиновых моделей Изинга / *М. З. Згуровский, Т. Н. Померанцева* // Проблемы управления и информатики. — 1995. — № 1. — С. 89-97.
- [2] *Буланicheв, В. А.* Модельный подход к управлению вузами как самоорганизующимися системами / *В. А. Буланicheв, Л. А. Серков* // Нелинейный мир. — 2006. — Т. 4, № 3. — С. 137-143.
- [3] *Шаронова, Н. В.* Синергетика і прийняття управлінського рішення в умовах функціонування корпоративної екологічної системи / *Н. В. Шаронова, Т. В. Козуля* // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2005. — № 2. — С. 31-36.
- [4] *Сявавко, М. С.* Нечітко-інтервальні методи оцінки ризику та ентропії поведінки соціально-економічної системи / *М. С. Сявавко, О. М. Третьак* // Економічна кібернетика. — 2006. — № 3-4(39-40). — С. 53-61.
- [5] *Яцишин, Ю. В.* Модель управління містом на основі термодинамічних законів / *Ю. В. Яцишин, Н. Б. Шаховська* // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Сер. Інформаційні системи та мережі. — 2000. — № 406. — С. 239-247.
- [6] *Свердлов, В. Я.* Совершенствование структуры и свойств металлических материалов в неравновесном состоянии / *В. Я. Свердлов* // Материаловедение. — 2008. — № 8. — С. 3-14.
- [7] Вывод гипотез о составе и свойствах объектов на основе аналогии / *В. П. Гладун, В. Ю. Величко, Н. Н. Киселева, Н. М. Москальова* // Искусственный интеллект. — 2000. — № 1. — С. 44-52.
- [8] *Виклюк, Я. І.* Моделювання флуктуацій росту та сегментації соціально-економічних об'єктів у процесі фрактального росту в нечіткому потенціальному полі / *Я. І. Виклюк* // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2009. — № 1. — С. 23-32.
- [9] *Виклюк, Я. І.* Методологія прогнозування соціально-економічних процесів методами фрактального росту кристалів у нечіткому потенціальному полі / *Я. І. Виклюк* // Вісник Тернопільського держ. техн. ун-ту. — 2008. — № 2. — С. 153-162.
- [10] *Виклюк, Я. І.* Методи побудови густини потенціального поля рекреаційної привабливості територій / *Я. І. Виклюк, О. І. Артеменко* // Штучний інтелект. — 2009. — № 2. — С. 151-160.
- [11] *Заде, Л. А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / *Л. А. Заде*. — Москва: Мир, 1976. — 165 с.
- [12] *Маделунг, О.* Теория твердого тела / *О. Маделунг*. — Москва: Наука, 1980. — 416 с.
- [13] Фракталы в физике; под ред. *Л. Пьетронеро* // Труды VI международного симпозиума по фракталам в физике. — Москва: Мир, 1988. — 670 с.
- [14] *Томашевський, В. М.* Моделювання систем / *В. М. Томашевський*. — Київ: Видавнична група BHV, 2005. — 352 с.
- [15] *Sibona Gustavo J.* Numerical simulation of the production processes of layered materials / *Gustavo J. Sibona, Sascha Schreiber, Ronald H. W. Hoppe et al.* // Materials Sci. in Semiconductor Processing. — 2003. — № 6. — P. 71-76.
- [16] *Ландау, Л. Д.* Теоретическая физика. Т. V. Статистическая физика / *Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц*. — Москва: Наука, 1976. — 584 с.

Modelling of socio-economic systems and their dynamic indices calculation using analogy

Yaroslav Vykylyuk

The methods of prediction of the structure of complex social processes on the basis of methods of fractal growth of crystals studied in physics of solids and also of fuzzy logic methods are developed. It is possible to mention here functional reorganization of cities and settlements, caused by active development of different forms of tourism, adaptation of related infrastructure and other. An attributive analogy between physical fractals and socio-economic systems has been stated. The methodology of development of socio-economic systems by the methods of fuzzy logic and fractal growth of crystals is proposed and developed. The methodology of modelling the evaporation in the process of crystal growth, which allows us to explain the basic phenomena which are observed in the real socio-economic systems, has been proposed. This methodology has been proved during development of the structure of the well-known Carpathian resort — town of Vorokhta. The performed experiment has demonstrated that in the process of the system evolution there is a point of stagnation after which the level of general competition of the open system diminishes, that confirms the fact of self-organizing. A functional analogy between the crystal entropy and a middle level of competition of the socio-economic system, and also between the kinetic energy and the level of competition has been found.

Моделирование социально-экономических систем и расчет их динамических показателей на основе аналогий

Ярослав Вижлюк

Работа посвящена разработке методов прогнозирования структуры сложных социальных процессов на основе изученных в физике твердого тела методов фрактального роста кристаллов, а также методов нечеткой логики. К таким процессам можно отнести функциональное переустройство городов и населенных пунктов, которые связаны с активным развитием различных форм туризма, адаптацией сопутствующей инфраструктуры и др. В работе установлена атрибутивная аналогия между физическими фракталами и социально-экономическими системами. Приведена и обоснована методология моделирования развития социально-экономических систем методами нечеткой логики и фрактального роста кристаллов. Предложен метод моделирования испарения в процессе роста кристалла, который позволил объяснить явления, наблюдаемые в реальных социально-экономических системах. Методология апробирована при моделировании структуры известного курорта Карпат — г. Ворохта. Проведенный эксперимент показал, что в процессе эволюции системы наблюдается точка стагнации, после которой уменьшается уровень общей конкуренции открытой системы, что подтверждает факт самоорганизации. Установлена функциональная аналогия между энтропией кристалла и средним уровнем конкуренции социально-экономической системы, а также между кинетической энергией и уровнем конкуренции.

Представлено профессором Є. Чаплею

Отримано 30.11.08