

Євдокименко В.К., д.е.н., професор,
Буковинський державний
фінансово-економічний університет,
м. Чернівці;

Виклюк Я.І., д.т.н., професор,
Буковинський університет,
м. Чернівці;

Андрієнко В.Ф., д.е.н., професор,
ДВНЗ «Київський університет
управління та підприємництва»,
м. Київ

До питання про моделювання розвитку рекреаційно-туристичних атракцій

Запропоновано напрямок розвитку концепції слабо контрольований прогнозів соціальних процесів (розвиток міст та поселень, розвиток зеленого туризму, створення інфраструктури, в т.ч. туристичної, сегментація населення за інтересами та діяльністю, відпочинок тощо), який базується на методах, відомих у фізиці твердого тіла в поєднанні з теорією fuzzy logic. Рекомендовано та апробовано метод фрактального вирощування кристалів у полі фаззі потенціальної привабливості для передбачення розвитку соціальних процесів у контексті туристичних атракцій на прикладі прогнозування поселень геометричної форми.

Ключові слова: потенціал привабливості, фрактальний, fuzzy logic, молекулярна динаміка.

Предложено направление развития концепции слабо контролируемый прогнозов социальных процессов (развитие городов и поселений, развитие зеленого туризма, создания инфраструктуры, в т.ч. туристической, сегментация населения за интересами и деятельностью, отдых и тому подобное), который базируется на методах, известных в физике твердого тела в сочетании с теорией fuzzy logic. Рекомендован и апробирован метод фрактального выращивания кристаллов в поле фаззи потенциальной привлекательности для предсказания развития социальных процессов в контексте туристических аттракций на примере прогнозирования поселений геометрической формы.

Ключевые слова: потенциал привлекательности, фрактальный, fuzzy logic, молекулярная динамика.

The segmentation method of forecasting social-economic processes in accordance with the applied fractal crystals growth methods in the fuzzy attraction potential field was proposed. The impact of model empirical parameters on the fractal structure fluctuation surface in the form of creating additional aggregation centers was investigated. The computer experiment gave a possibility to simulate structures which are well correlated with the experimental data received.

Key words: potential of attractiveness, fractal, fuzzy logic, molecular dynamics.

Постановка проблеми. Бурхливий розвиток туристичної діяльності спричиняє концентрацію великого капіталу у туристичній індустрії – з'являються мережі готелів, будуються туристичні центри, розвивається транспортна інфраструктура, ресторанний бізнес, і таке інше.

Інвестуючи розвиток туризму, великий капітал намагається отримати максимальний прибуток за найкоротший час. Природа, ресурси, місцеве населення сприймаються тільки як робоча сила для досягнення мети. Не дивно, що масове зростання нерегульованих візитів до визначних природних комплексів має негативний антропогенний вплив на них, а також на місцеве соціальне і культурне середовище: рідкісні рослини знищуються, вирубаються дерева, забруднюються водойми, популяції багатьох видів тварин зникають або значно зменшуються. Такий вид туризму, що отримав назву «жорстокий туризм», спостерігається за останні десятиліття в багатьох країнах.

Отже, визнання стратегії розвитку туризму, прогнозування надзвичайно важливі. Для розв'язання цієї проблеми існуючі методи розробки стратегій, експертні оцінки слід дедалі більше застосовувати різноманітні математичні методи та моделі, використання яких в економічних дослідженнях дає нам можливість розв'язувати специфічні завдання з побудовою прогностичних сценаріїв, а також створює можливість більш точного багатоваріантного передбачення, формування і розвитку складних соціально-економічних процесів.

З іншого боку, розвиток GPS-технологій і різних міжнародних програм космічного наземного фотографування, створення цифрових карт дозволяє кожному вільно орієнтуватися на місцевості, отримувати топографічні дані та інформацію про місцеположення, планувати маршрути, отримувати фотографії місцевості із космосу і т.д. Ця інформація відкриває величезні можливості проводити дослідження у сфері GIS-технологій, архітектури, соціології, економіки та інших галузей. Знімки багатьох населених пунктів, які було зроблено з космосу, нагадують ріст кристалу у певному центрі (зони розваг, відпочинку, промисловості та ін.), що деформується під впливом певного потенціального поля.

Об'єктивно виникає потреба у методології аплікативного методу фрактального вирощування кристалу у полі фаззі потенціальної привабливості для передбачення контрольованих соціальних процесів, в т.ч. у туристично-рекреаційній сфері, на прикладі прогнозування побудови житла геометричної форми. Важливо розкрити переваги і недоліки модифікованої теорії дифузивно обмеженого DLA і AR, а також запропонувати комбіновані алгоритми цієї теорії, щоб уникнути можливих помилок і отримати максимальну користь від переваг.

Мета даного дослідження полягає у створенні та апробації методології методу фрактального вирощування кристалів у полі фаззі потенціальної привабливості для передбачення розвитку соціальних процесів в контексті туристичних атракцій на прикладі прогнозування поселень геометричної форми.

Актуальність його полягає у розвитку концепції слабо контрольованих прогнозів соціальних процесів, таких як ріст міст та поселень, активного розвитку зеленого туризму, створення інфраструктури в тому числі туристичної, сегментація населення за інтересами, роботою, відпочинком тощо,

яка базується на методах збільшення, що добре відомі у фізиці твердого тіла в поєднанні з теорією fuzzy logic.

Створення структури з поверхнею, що зростає, представлено також серед великої кількості понять, які активно вивчаються науками, особливо у питанні вирощення кристалів у певних умовах, еволюція сніжинки в атмосфері, керована кристалізація в деяких процесах як важливої складової металургії.

Ріст поселень характеризується рисами, які можна спостерігати у фізичних процесах вирощення кристалів, зокрема:

фізичний ріст кристалу починається у певному центрі. Такими центрами можуть бути промислові підприємства, історичні і культурні місця, туристичні рекреаційні системи, гірськолижні центри, розважальні центри, пляжі та ін.;

кластерна деформація у фізичних кристалах спричиняється дифузією у потенціальному полі. Роль потенціального поля у соціальних процесах відіграє функцію привабливості, яка залежить від віддаленості інфраструктури, інноваційно-інвестиційного клімату, юридичних та інших аспектів. Така територія може бути побудована на основі теорії fuzzy logic.

У процесі розвитку вільна частинка, яка створює випадковий рух, приєднується або до центру кластеру, або до попередньо оброблених часток. Відповідно до маркетингових досліджень нові рекреаційні об'єкти, будівлі з'являються у безпосередній близькості до сусідів, утворюючи квартали, аналогічні до кластерів. З цього випливає, що базові процеси зміни поселень схожі до процесів, які спостерігаються при вирощенні кристалів. Це дає змогу використовувати теорії DLA і AR, а також визначити спеціалізацію окремих сегментів поселень і передбачити грошовий потік у системі.

Проте визначальними рисами росту поселень є те, що кристалізація відбувається не в одному центрі, як це спостерігається у фізичних феноменах. У реальному житті формується декілька кристалізаційних центрів і регіонів у межах досліджуваного об'єкта і геометрія їх досить складна. Потенційно приваблива територія, у свою чергу, має складні форми. У багатьох містах та мегаполісах стратегія зміни відбувається під впливом експертної оцінки та дозволів відповідних установ. Зміна невеликих поселень має імовірнісний характер і у великих розмірах залежить від привабливості певної території. З цього випливає, що такі класичні методи росту кристалів як імітація, дендритне і фрактальне збільшення можуть бути значно модифіковані.

Постановка завдання. Метою дослідження є визначення флуктуацій та внутрішньої структури фракталів, що зростають в нечіткому потенціальному полі, згідно з методологією аплікації методик фрактального росту кристалів для прогнозування складних соціальних процесів на прикладі геометричної структури населених пунктів.

Актуальність дослідження полягає у розробці концепції прогнозування структури складно контрольованих соціальних процесів, таких як розбудова міст і населених пунктів, що пов'язані з активним розвитком зеленого туризму, утворення супутньої інфраструктури та інших, на основі добре відомих у фізиці твердого тіла методів фрактального росту кристалів і молекулярної динаміки у поєднанні з теорією нечіткої логіки.

Прогнозування геометрії зростання населених пунктів та їх внутрішньої структури дозволить планувати розбудову відповідної інфраструктури та комунікацій з максимальною економічною вигодою. Виникає можливість передбачити структуру новобудов в околі новостворених туристично-рекреаційних систем (ТРС). Це, у свою чергу, дозволить оптимізувати стратегію розбудови ТРС, визначити спеціалізацію окремих сегментів населеного пункту та передбачити грошові потоки такої системи [2].

Модель потенціального поля

Потенціальне поле привабливості території для забудови можна описати за допомогою математичного апарату нечіткої логіки.

У загальному вигляді потенціал U записується:

$$U = F(a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (1)$$

де a_i – вхідні параметри, F – функція, яка визначає вигляд потенціалу.

Вигляд функції та вибір алгоритму нечіткого виведення (Мамдані, Сугено, Цукамото та ін. [3]) залежить від механізму побудови нечітких продукційних правил, що використовуються в експертних і керівних системах, які за основу мають базу знань, сформовану фахівцями-експертами предметної галузі або отриману в результаті навчання нейромережі, навчальна множина якої, у свою чергу, базується на експериментальних даних у вигляді сукупності нечітких предикатних правил. Апарат нечіткої логіки добре зарекомендував себе в дослідженнях економічних і соціальних процесів, зокрема, при розрахунках інтегрованих показників ефективності [4], розв'язуванні багатокритеріальних задач [5], визначенні конкуренції економічного зростання між регіонами в Китаї [6]. У роботі [7] автором була доведена можливість використання алгоритмів Мамдані та Сугено для визначення рекреаційного потенціалу. Показано, що результати, отримані за цими методами, добре корелюються з оцінками експертів. Тому в подальших розрахунках використовувався один з цих алгоритмів, а саме: алгоритм Сугено з гауссівськими функціями належності [8]. Вибір цього алгоритму обґрунтований тим, що при наявності експериментальних баз знань доцільним стане використання гібридних нейронних мереж ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), в основі яких лежить метод Сугено.

Для нечіткого виведення Сугено необхідно мати нечітку базу знань[9]:

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

де, x_1, x_2, \dots, x_n – вхідні лінгвістичні змінні, $a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}$ – терми лінгвістичних змінних, Θ_j – логічна операція, що пов'язує фрагменти антецедента j -го правила, \rightarrow – нечітка імплікація, $b_{j0}, b_{j1}, \dots, b_{jn}$ – дійсні числа.

Висновки правил задаються лінійною функцією від входів:

$$d_j = b_{j0} + \sum_{i=1,n} b_{ij} x_i. \quad (3)$$

Ступінь належності вхідного вектора $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ до значень $d_j = b_{j0} + \sum_{i=1,n} b_{ij} x_i^*$ розраховують таким чином:

$$\mu_{dj}(X^*) = \mu_j(x_1^*) \chi_j \mu_j(x_2^*) \chi_j \dots \chi_j \mu_j(x_n^*), \quad j=1,m. \quad (4)$$

У результаті виведення відповідно до вхідного вектора X^* отримуємо нечітку множину \tilde{y} :

$$\tilde{y} = \left(\frac{m_{d1}(X^*)}{d_1}, \frac{m_{d2}(X^*)}{d_2}, \dots, \frac{m_{dm}(X^*)}{d_m} \right). \quad (5)$$

Для отримання результатного значення виходу \tilde{y} дефазифікують, розраховуючи зрівноважену суму:

$$y = \sum_{j=1,m} m_{dj}(X^*) d_j. \quad (6)$$

В цій роботі був застосований метод Сугено 0-го порядку, коли логічне виведення є константою:

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j} \Theta_j x_2 = \tilde{a}_{2j} \Theta_j \dots \Theta_j x_n = \tilde{a}_{nj}) \rightarrow y = dj, \quad j=1,m. \quad (7)$$

Як вхідні параметри нечіткого потенціалу привабливості автором запропоновано вибрати віддаль до найближчої дороги та віддаль по дорозі до найближчого центра кристалізації.

Нехай транспортні мережі досліджуваної території задані масивом [10]:

$$w_f(x_{f1}, y_{f1}, x_{f2}, y_{f2}), \quad f = \overline{1,n}, \quad (8)$$

де n – кількість векторів доріг на досліджуваній території, $x_{f1}, y_{f1}, x_{f2}, y_{f2}$ – координати вектора дороги.

Тоді віддаль h точки з координатами x, y до найближчої дороги визначається за такими міркуваннями: розглянемо трикутник з вершинами $A(x, y), B(x_{f1}, y_{f1}), C(x_{f2}, y_{f2})$, довжина сторін якого визначається як:

$$a = \sqrt{(x_{f1} - x_{f2})^2 - (y_{f1} - y_{f2})^2}; \quad (9)$$

$$b = \sqrt{(x_{f1} - x)^2 - (y_{f1} - y)^2}; \quad (10)$$

$$c = \sqrt{(x - x_{f2})^2 - (y - y_{f2})^2}. \quad (11)$$

Висота трикутника до прямої, якій належить сторона a (відрізок дороги):

$$h'_f = \frac{2\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}}{a}; \quad (12)$$

$$p = \frac{a+b+c}{2}. \quad (13)$$

Відрізки a_1 та a_2 , що визначають відстань від основи висоти до вершин В та С відповідно, та координати основи висоти (x'_h, y'_h) визначаються як

$$a_1 = \sqrt{b^2 - h'^2_f}; \quad (14)$$

$$a_2 = \sqrt{c^2 - h'^2_f}; \quad (15)$$

$$x'_{fh} = x_{f1} - (x_{f1} - x_{f2}) \frac{a_1}{a}; \quad (16)$$

$$y'_{fh} = y_{f1} - (y_{f1} - y_{f2}) \frac{a_1}{a}. \quad (17)$$

Висота (12) є найкоротшою відстанню до дороги у випадку, якщо точка (x'_{fh}, y'_{fh}) лежить на відрізку дороги f . В іншому випадку найкоротша відстань до дороги визначатиметься як

$$h_f = \begin{cases} a_1 + a_2 = a, & h'_f, \\ a_1 + a_2 > a \text{ and } b < c, & b, \\ a_1 + a_2 > a \text{ and } b > c, & c. \end{cases} \quad (18)$$

Координати точки перетину відповідно

$$(x_{fh}, y_{fh}) = \begin{cases} a_1 + a_2 = a, & (x'_{fh}, y'_{fh}), \\ a_1 + a_2 > a \text{ and } b < c, & (x_1, y_1), \\ a_1 + a_2 > a \text{ and } b > c, & (x_2, y_2). \end{cases} \quad (19)$$

Тоді відстань до найближчої дороги визначається як

$$h = \min_{f=1,n} (h_f) \quad (20)$$

Для розрахунку форми потенціального поля привабливості можна скористатися методом побудови карт рекреаційних потенціалів [11]. Для цього карта території T покривається прямокутником $\Pi = [a,b] \times [c,d]$. Очевидно, що прямокутник Π містить множину (територію) T ($T \subset \Pi$). Прямокутник Π розбивається сіткою $\Delta = \Delta_x \times \Delta_y$, де

$$\Delta_x = \bigcup_{k=0}^N \{x_k\}; \quad (21)$$

$$\Delta_y = \mathbf{U}_{l=0}^M \{y_l\}; \quad (22)$$

$$x_k = x_0 + kh_x, \quad k = \overline{0, N}; \quad (23)$$

$$y_l = y_0 + lh_y, \quad l = \overline{0, M}; \quad (24)$$

$$h_x = \frac{b-a}{N}; \quad (25)$$

$$h_y = \frac{d-c}{M}. \quad (26)$$

Для кожного вузла сітки визначаються значення вхідних параметрів. Отримані матриці є вхідними параметрами нечіткої функції потенціального поля привабливості (1). Результатом розрахунку є матриця, яка визначає форму потенціалу території Т.

Для моделювання еволюції центральної частини населених пунктів був використаний модифікований метод «випадкового дощу» (ВД) [12].

Модель ВД була запропонована Волдом та Сазерландом [12]. У моделі ВД частинки рухаються випадково визначеними траєкторіями. У роботі [12] показано, що найкраще узгодження з експериментом дає модель, в якій центр кластеризації розташовується в центрі області, що досліджується, а частинки (кандидати на агрегацію) починають рухатись з великого околу всередину кола. Кожна частинка стартувала з випадкової точки і рухалась по випадковій хорді, з'єднуючись при зіткненні або з лінією основи, або з кластером, що зростає. Модель ВД породжує розгалужені сферичні структури.

У випадку існування n центрів кластеризації для кожного центра визначається його нормована вага w_i . У випадку, якщо населений пункт має декілька центрів привабливості, вагові множники можуть розраховуватися, як відносна кількість людей, які відвідали такі об'єкти за визначений період часу:

$$w_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1, n} S_i}, \quad (27)$$

де s_i – кількість людей, які відвідали i -й об'єкт.

Згідно з алгоритмом ВД, частинка рухається по випадковій хорді до одного з центрів кластеризації. Центр кластеризації для кожної частинки вибирається випадковим чином в залежності від величини нормованої ваги w_i [13]. Для уникнення появи порожніх областей [14] після агрегації частинки, створюється її копія («прозора частинка»), що продовжує свій рух до центра, не реагуючи на кристалізовані частинки. Як тільки вона потрапляє в область, де в невеликому радіусі R немає агрегованих частинок (тобто частинка потрапила в порожню область), «прозорій частинці» присвоюється статус «звичайної частинки», і алгоритм акреції продовжується за класичними правилами.

Вплив потенціального поля враховується таким чином: початкове потенціальне поле регіону, що досліджується, нормується; імовірність агрегації визначається, як імовірність настання двох незалежних подій, а саме: наявність

поруч агрегованої частинки та «можливість» агрегації в заданій точці збоку нормованого потенціального поля $U(x, y)$. У наших розрахунках достовірність $P_a(x, y)$ перебування поруч з рухомою частинкою агрегованого кластера приймалась рівною 1, якщо в сусідній по грані з частинкою клітинці розташований агрегований атом; 0,5 – якщо агрегований атом розташований поруч по діагоналі; та 0,01 – в іншому випадку. Тоді імовірність агрегації частинки визначається як

$$P(x, y) = U(x, y) \cdot P_a(x, y). \quad (28)$$

Ненульова імовірність агрегації $P_a(x, y)$ в зоні, де в найближчому околі відсутні агреговані частинки, підсилює вплив потенціального поля на форму утвореного кластера, однак сприяє появі відокремлених центрів агрегації.

Для моделювання периферії населеного пункту матриця утвореної структури розділяється на матрицю центральної частини населеного пункту, що складається з частинок, які мають найближчих сусідів, та матрицю вільних частинок. Перша матриця розглядається як єдиний центр агрегації, а частинки, задані другою, матрицею продовжують рух в потенціальному полі згідно з моделлю дифузно обмеженої агрегації (ДОО).

Класична модель ДОО дуже проста: частинки, що здійснюють випадкові переміщення, в результаті агрегації утворюють кластер. Тобто частинка, починаючи рух з випадково вибраної віддаленої точки, приєднується або до точкового центра кластеризації, або до раніш агрегованих частинок. Інтенсивні комп'ютерні дослідження показали, що в результаті такого процесу утворюються складні розгалужені фрактали [12, 15], що мають сферичну форму.

У нашому випадку частинка повинна рухатись в потенціальному полі, що має вплинути на форму фракталу. Для моделювання цього руху можна скористатися методами молекулярної динаміки [16 – 18].

Нехай, у момент часу t частинка міститься в точці $(x_1(t), x_2(t))$ та рухається зі швидкістю $(v_{x1}(t), v_{x2}(t))$. Тоді в проекції на осі на частинку буде діяти сила

$$\dot{\mathbf{F}}(t) = -\text{grad}(U). \quad (29)$$

Для коректного впливу потенціального поля та запобігання різкому зростанню швидкості автор пропонує розглядати рух частинок у середовищі з в'язким тертям. Аналогом є рух тіл у повітрі, сила опору якого при дозвукових швидкостях пропорційна швидкості

$$\dot{\mathbf{F}}_l = -b\dot{\mathbf{v}}, \quad (30)$$

де b – коефіцієнт опору.

Вважаючи, що протягом малого часу Δt сила залишається незмінною, розраховуються прискорення, швидкості та положення частинки в момент часу $t + \Delta t$:

$$\mathbf{a}(t) = \frac{\mathbf{F}(t) - b\mathbf{v}(t)}{m}; \quad (31)$$

$$\mathbf{v}(t + \Delta t) = \mathbf{a}(t)\Delta t + \mathbf{v}(t); \quad (32)$$

$$x_i(t + \Delta t) = \frac{a_{xi}(t)\Delta t^2}{2} + v_{xi}(t)\Delta t + x_i(t); \quad (33)$$

де m – маса частинки [19; 20].

Агрегація частинки відбувається у випадку, коли під час руху вона стикається з центром кластера або раніш агрегованими частинками. У випадку, якщо вхідні параметри нечіткого потенціалу, які мають зміст локальних обмежень, перешкоджають агрегації (узбережжя, болото, водойма), частинка вилучається з розрахунку.

Як емпіричні показники цієї теорії виступають маса частинки та коефіцієнт опору середовища. Маса m у фізиці – міра інертності тіла. Тобто, чим більша маса тіла, тим менший вплив на нього потенціального поля. Зменшення маси приводить до збільшення прискорення в бік максимального градієнта потенціального поля (рис. 1). Тобто, легші частинки тяжіють до доріг, в той час, як важкі частинки агрегуюватимуться на центрах кристалізації. При прогнозуванні складних соціальних структур, таких як населені пункти, маса може інтерпретуватись як міра інвестиційної спроможності певного об'єкту населеного пункту (санаторій, готель, офіс, котедж, дача тощо) або інфраструктури (супермаркет, магазин, кіоск тощо). Густина середовища b може бути інтерпретована, як міра інвестиційного сприяння регіону. На рис.2 наведені прогнозовані фрактальні структури у таких наближеннях: центр кристалізації розташований у центрі досліджуваного регіону; центр кристалізації перетинає пряма горизонтальна дорога. В експерименті використовувались частинки з масами $m = 0.1$ (рис.2.а) та $m = 0.01$ (рис.2.б). Коефіцієнт в'язкого тертя становив $b = 0.0001$. З рисунків видно, що фрактальна структура, утворена частинками з масами $m = 0.01$, має більш витягнуту вздовж дороги структуру, ніж $m = 0.1$. Отже, вони підтверджують наші припущення щодо інтерпретації маси частинок. Тобто, інвестиційно потужні об'єкти тяжіють до центрів привабливості, а на об'єкти малого та середнього бізнесу значний вплив спричиняють транспортні шляхи. В'язкість середовища відіграє теж суттєву роль при зростанні фракталу. При збільшенні коефіцієнта опору b (зменшенні інвестиційного сприяння регіону) абсолютна швидкість частинок зменшується і геометрична форма фракталу, що зростає, буде, в основному, визначатись градієнтом потенціального поля (29) і слабо залежати від початкових швидкостей частинок. Максимальна зміна градієнту спрямована до дороги, тому траєкторія руху частинок на початковому етапі зростання фракталу може бути описана, як затухаючі коливання перпендикулярно до дороги з поступовим переміщенням частинки до центру привабливості

(рис.3,а). З рисунка видно, що амплітуда коливань легких частинок затухає значно швидше, на відміну від тяжких (рис.3,б). Тобто, траєкторія руху частинок з більшою масою буде мати хаотичний коливний характер, що визначатиметься випадковими початковими умовами. Траєкторія ж руху легких частинок слабо залежить від початкової швидкості і визначається, в основному, тільки координатою ініціалізації.

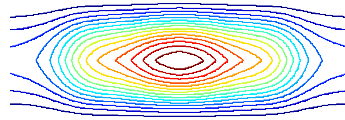


Рис. 1. Потенціальне поле атрактивності в наближенні: Центр-дорога

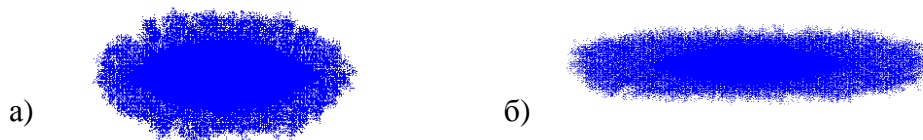


Рис. 2. Фрактал в наближенні: Центр-дорога. $b = 0.0001$.

а) $m = 0.1$, б) $m = 0.01$

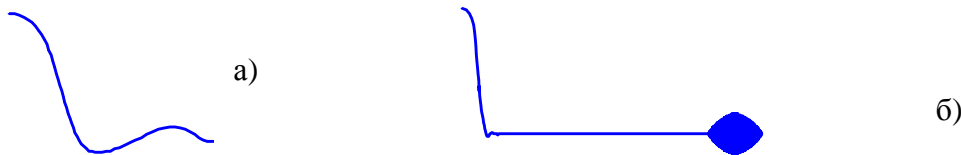


Рис. 3. Траєкторія руху частинки в потенціальному полі центр-дорога $b = 0.001$:

а) $m = 0.01$, б) $m = 0.001$

При моделюванні фракталу 100 000 частинками з масами $m = 0.1$ в середовищі з в'язким тертям $b = 0.001$ утворюється структура, що повторює за формою потенціальне поле (рис.4.а). Цікавий ефект спостерігається при моделюванні фракталу легкими частинками. За рахунок вищезгаданих особливостей руху частинок з такою масою при наближенні до центру агрегації різко зростає кількість частинок, що рухаються вздовж дороги. Виникає ситуація, що нагадує «затор» на автошляхах. Така флуктуація призводить до агрегування частинок в цих областях. Як результат, на певній відстані від центру агрегації утворюється додаткова область агрегування (рис.4.б). Схожий ефект спостерігається у містах та районних центрах, в околі яких вздовж доріг виникають дачні поселення, в яких відсутній, як такий, центр привабливості для забудови.

Відмінність між отриманими фрактальними структурами є інструментом для визначення як зовнішньої, так і внутрішньої структури отриманих кристалів.

Нехай існує N типів елементів бізнесу або інфраструктури, які описуються масами m_i , $i=1 \div N$ та відносною кількістю p_i . Типи N та їх кількість можуть бути визначені за статистичними даними, кластерним аналізом або експертними оцінками [2]. Економічне становище України характеризується тим, що величина інвестиційного сприяння регіону більша для великого бізнесу. Тобто, при збільшенні капіталу, зменшується кількість перепон для ведення бізнесу. В роботі використано наступне припущення: величина в'язкого тертя – обернено пропорційна до маси частинки: $b_i \sim 1/m_i$. Ріст фракталу моделюється згідно з ДОА з такими наближеннями:

- індекс i маси частинки m_i вибирається випадковим чином в залежності від величини відносної кількості p_i ; визначається величина b_i ;
- агрегування відбувається на частинках з масами, рівними або більшими за масу рухомої частинки. Тобто, інвестиційно потужні об'єкти витісняють малий бізнес [2].

Комп'ютерний експеримент

Для апробації моделі був проведений експеримент, в ході якого моделювалась фрактальна структура населених пунктів: Судак-Новий Світ, Новоселиця, Кіцмань.

Вибір населених пунктів мотивувався наявністю в них яскраво виражених дачних забудов (рис.5 – рис.7). Географічними особливостями цих населених пунктів є:

- Судак – Новий світ – розташований на узбережжі моря, має значну історико-культурну спадщину; є лише один під'їзний шлях (рис.5);
- Новоселиця – районний центр; як під'їдні є два автомобільні шляхи, розташовані під гострим кутом один до одного; дачне поселення утворилося лише на одному з під'їзних шляхів (рис.6).
- Кіцмань – районний центр; основні центри привабливості розташовані в центрі міста; дорога державного значення має мало зломів та перетинає центр міста (рис.7).

При розрахунку потенціального поля вхідними параметрами нечіткої моделі, що використовує алгоритм нечіткого виведення Сугено, були вибрані відстані до історико-культурних центрів, адміністративних об'єктів, доріг, відстань дорогою до найближчого об'єкту та геометрія морського узбережжя (Судак – Новий Світ). Особливості рельєфу не враховувалися.

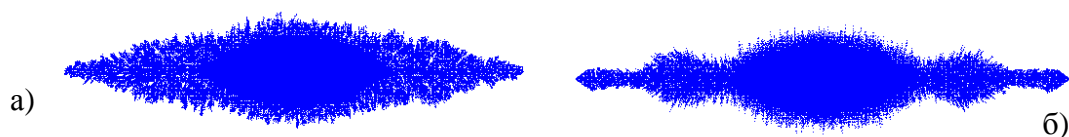


Рис. 4. Фрактал в наближенні: Центр-дорога. $b = 0.001$.

а) $m = 0.1$, б) $m = 0.01$.

Розрахунки методом модифікованого ДОА здійснювалися з такими наближеннями: початкова швидкість частинки вибиралася випадковим чином; використовувались дзеркальні граничні умови [19]. Тобто, перетнувши грань області, що досліджується, частинка з'являлась з протилежного боку, зберігаючи при цьому всі інші динамічні показники. У ході експерименту використовувались частинки масами $m_1 = 1$; $m_2 = 0.1$; $m_3 = 0.01$. Відносна кількість складала $p_1 = 0.1$; $p_2 = 0.2$; $p_3 = 0.7$. Коефіцієнт в'язкого тертя становив $b_1 = 10^{-5}$, $b_2 = 10^{-4}$, $b_3 = 10^{-3}$.



Рис. 5. Судак – Новий Світ



Рис. 7. Кіцмань

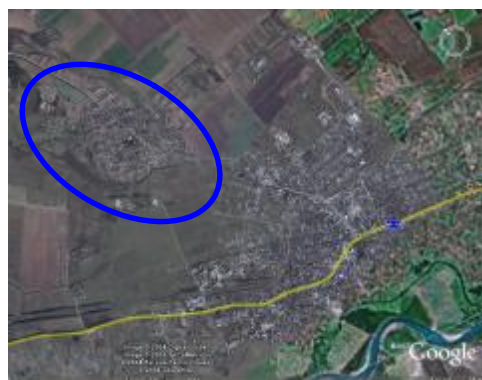


Рис. 6. Новоселиця

При дослідженні регіону Судак – Новий Світ, отриманий фрактал складався близько із 74 000 агрегованих частинок. Загальна структура отриманого фракталу відображає всі особливості регіону, що моделюється (рис. 5, рис. 8). Ріст фракталу при моделюванні цього регіону нагадує проекцію

зростання фізичного кристалу на площині. Основні об'єкти привабливості розташовані вздовж узбережжя та біля дороги. Як видно з рис.8, врахування обмежень перешкоджає зростанню фракталу в зоні моря.

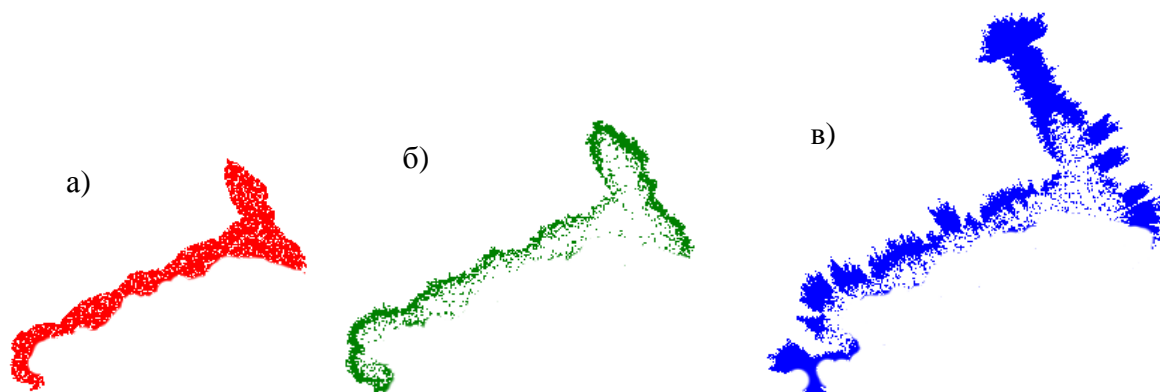


Рис. 8. Сегменти фрактальної структури Судака та Нового Світу
а) $m=1$, б) $m=0.1$, в) $m=0.01$

Рис. 8 наочно відображає сегментацію інфраструктури досліджуваного регіону. З рисунку видно, що найдорожча інфраструктура агрегована з частинок $m=1$, розташовується вздовж берегової лінії та оточує основні історико-культурні центри привабливості Судака, тобто, охоплює зону, яка має найбільшу атрактивність. Інфраструктура середнього класу розташовується впритул до дорогих елементів і складає невеликий прошарок, порівняно з дорогими елементами інфраструктури, не зважаючи на те, що початкова кількість агрегованих частинок маси $m=0.1$ вдвічі перевищує $m=1$. Отже, наочно спостерігається поглинання середнього бізнесу великим. Проникнення елементів середнього класу в зону дорогої інфраструктури незначне, чого не можна сказати про малий бізнес. Елементи малого бізнесу, що відповідають масі $m=0.01$, розташовуються на значній відстані від основних центрів привабливості та тяжіють до дороги. З рис. 8 (в) видно, що цей сегмент охоплює як околиці досліджуваного регіону, так і «просочується» поміж дорогих елементів інфраструктури. Схожа картина дійсно спостерігається, особливо на курортах, де невеликі крамниці та кіоски розташовуються на найбільш престижних та дорогих ділянках поблизу моря чи центрів привабливості.

Як було вказано вище, до узбережжя можна дістатись одним під'їзним шляхом. З рис. 8 (в) видно, що на під'їзді до досліджуваного регіону утворився центр агрегації, утворений легкими частинками. Як видно з рис. 5 та рис. 8 (в), теоретично отриманий центр агрегації за відстанню до узбережжя та розміром добре корелює з цим дачним поселенням. Відмінності форми можна пояснити врахуванням територіальних обмежень.

Отримані в ході моделювання фрактальні структури населених пунктів Новоселиця (41 000 агрегованих частинок) та Кіцмань (30 000 агрегованих частинок) повторюють основні особливості внутрішньої структури, які спостерігались для регіону Судак – Новий Світ (рис.9, рис.10). Тобто, елементи великого бізнесу захоплюють найбільш інвестиційно привабливі території, витісняючи середній бізнес. Елементи малого бізнесу та приватні будинки з одного боку тяжіють до доріг та віддаляються від центру, утворюючи дачні поселення, з іншого боку активно проникають крізь елементи великого бізнесу.

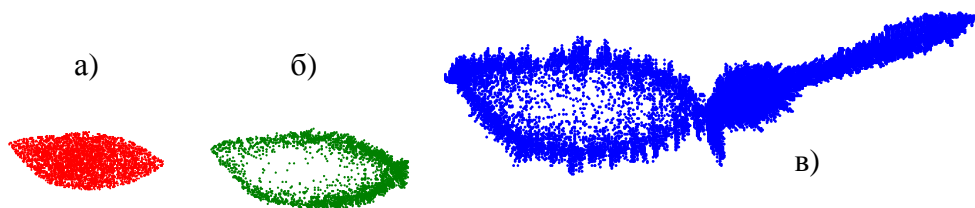


Рис. 10. Сегменти фрактальної структури Кіцмань

а) $m = 1$, б) $m = 0.1$, в) $m = 0.01$

Як видно з рисунку 9.(в) отримані фрактальні структури прогнозують утворення двох нових центрів агрегації в безпосередній близькості від центру населеного пункту. При порівнянні з рис.6 видно, що верхній центр агрегації за розміром і формою повторює це дачне поселення. Однак нижній центр не має реальних аналогів. Це може свідчити про потенційну привабливість цієї території для забудови. А це, в свою чергу, є науковим підґрунтям для планування розвитку стратегії цього регіону.

На рис. 10. (в) можна спостерігати утворення яскраво вираженого дачного поселення на околиці міста з чітко вираженим піком (виступом) в місці повороту дороги. Як видно з рис.7 така особливість геометричної структури населеного пункту дійсно спостерігається на фотознімках з космосу. Рис. 7 свідчить, що на певній відстані від районного центру існує ще одне поселення. На рис.10.(в) у цьому околі дійсно спостерігається потовщення фрактальної структури. Отже, ця територія має потенційну привабливість для забудови. Це свого часу привело до виникнення в згаданому околі нового поселення. І тепер

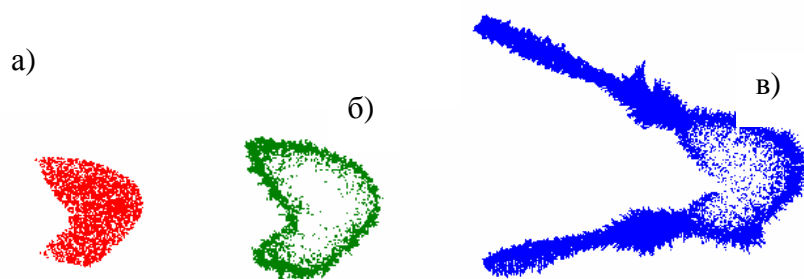


Рис. 9. Сегменти фрактальної структури Новоселиці

а) $m = 1$, б) $m = 0.1$, в) $m = 0.01$

для моделювання реальної структури цього регіону треба враховувати центри привабливості й новоствореного поселення.

Схожість теоретичних структур та отриманих сегментів з експериментальними підтверджує справедливість запропонованого методу прогнозування та сегментації і є фундаментом для подальших теоретичних і практичних досліджень.

Висновки. Наведено метод побудови нечіткого потенціального поля привабливості. Запропоновано алгоритм розрахунку вхідних параметрів нечіткої моделі.

Наведено алгоритм розрахунку фрактального росту в нечіткому потенціальному полі методами «випадкового дощу» та ДОА. Показано, що врахування елементів апарату молекулярної динаміки, сили в'язкого тертя й обмежень в моделі ДОА дозволяє адекватно описувати рух акреційованої частинки в нечіткому потенціальному полі.

Розроблено метод сегментації внутрішньої структури кластера, що зростає.

Досліджено вплив емпіричних параметрів моделі на форму кластера, що зростає. Визначені значення даних емпіричних параметрів, при яких спостерігаються флуктуації в рості кластера, що призводять до появи нових центрів агрегації. Пояснено та обґрунтовано механізм такого явища.

У ході комп'ютерних розрахунків отримано фрактальні структури, які добре узгоджуються з наявними експериментальними даними. Це підтверджує припущення, що вирішальну роль у формуванні населених пунктів відіграє наявна інфраструктура, а саме: шляхи сполучення та наявні центри привабливості.

Отримані сегменти підтверджують основні економічні особливості наявної інфраструктури.

Показано, що утворені за рахунок флуктуацій центри агрегації за формою та розташуванням повторюють основні характеристики реальних дачних поселень досліджуваних регіонів.

Хороше корелювання експериментальних та отриманих при розрахунку даних доводить адекватність запропонованої методології та дозволяє використовувати її для подальшого прогнозування як геометричної форми, так і внутрішньої структури населених пунктів. Дослідження та аналіз появи нових центрів агрегації є науковим підґрунтям для планування стратегії розвитку регіону.

Список використаних джерел

1. Ткаченко Т.І. Сталий розвиток туризму: теорія, методологія, реалії бізнесу / Т.І. Ткаченко. – К. : КНТЕУ, 2006. – 537 с.
2. Маркетинг в туризме : учеб. пособие / А.П. Дурович. – 3-е изд., стереотип. – Мн. : Новое знание, 2003. – 496 с.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
4. Петренко В.Р. Нечітка модель аналізу ефективності бізнес-процесів підприємства / В.Р. Петренко, С.В. Кашуба // Складні системи і процеси. – 2006. – №2. – С. 18-26.

5. Tsung-Yu Chou, Mei-Chyi Chen, Chia-Lun Hsu. And Fuzzy Multi-criteria Decision Model for International Tourist Hotels Location Selection // International Journal of Hospitality Management. In Press.
6. Shengquan Ma, Jing Feng, Huhua Cao. Fuzzy Model Regional Economic Competitiveness in GIS Spatial Analysis: Case Study Gansu, Western / Ma Shengquan China // Fuzzy Optim Decis Making. – 2006. – №5. – Pp. 99–111.
7. Виклюк Я.І. Картографічне моделювання рекреаційного потенціалу євро регіону „Верхній Прут” на основі нечіткої логіки / Я.І. Виклюк // Відбір і обробка інформації. – 2008. – №28(104), в друці.
8. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/1 SP2 + Simulink 5/6. / В.П. Дьяконов, В.В. Круглов // Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. Серия «Библиотека профессионала». – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 456 с.
9. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab / С.Д. Штовба. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
10. Виклюк Я.І. Прогнозування геометричної структури населених пунктів методом модифікованої дифузно-обмеженої агрегації в нечіткому потенціальному полі / Я.І. Виклюк // Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія. – 2008. – в друці.
11. Кифяк В.Ф. Визначення оптимальних рекреаційно-туристичних зон в умовах транскордонного співробітництва / Кифяк В.Ф., Виклюк Я.І., Кифяк О.В. // Формування ринкових відносин в Україні. – 2007. – №1 (68). – С. 132-136.
12. Фракталы в физике. Труды VI международного симпозиума по фракталам в физике ; под. ред Л. Пьетронеро. – М. : Мир, 1988. – 670 с.
13. Томашевський В.М. Моделювання систем / В.М. Томашевський. – К. : Видавнича група ВНУ, 2005. – 352 с.
14. Виклюк Я.І. Методологія прогнозування соціально-економічних процесів методами фрактального росту кристалів у нечіткому потенціальному полі / Я.І. Виклюк // Вісник ТДТУ. – 2008. – №2, в друці.
15. Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах / Р. Кроновер. – М. : Техносфера, 2006. – 488 с.
16. Perez-Martin A. Mari Carmen, Jimenez-Rodriguez Jose. J., Jose. Carlos Jimenez-Saez. Shallow Boron Dopant on Silicon an MD Study // Applied Surface Science. – 2004. – №234. – Pp. 228–233.
17. Gustavo J. Sibona, Sascha Schreiber, Ronald H.W. Hoppe, Bernd Stritzker, Adrian Revnic. Numerical Simulation Production Processes Layered Materials // Materials Science in Semiconductor Processing. – 2003. – №6. – Pp. 71–76.
18. Moon Won Ha. Atomistic Study of Elastic Constants and Thermodynamic Properties Cubic Boron Nitride / Moon Won Ha, Hwang Ho Jung // Material Science and Engineering. – 2003. – №103. – Pp. 253–257.
19. Гулд Х. Компьютерное моделирование в физике / Х. Гулд, Я. Тобочник ; пер. с англ. – В 2-х ч. – М. : Мир, 1990. – Ч.1. – 349 с.
20. Каплан И.Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий / И.Г. Каплан. – М. : Наука, 1982. – 311 с.