

## Література

1. Тімме К., Люкінг Г., Меессен Г., Чопин Я. Теплоенергетичний потенціал у житловому господарстві Львова// Ринок інсталяцій. – 1998, № 9. – С. 22-24.
2. СНиП 2.04.05-91\*У Отопление, вентиляция и кондиционирование. – К.: ЗНИИЭП, 1996. – С. 64-69.
3. СНиП II-Л. 1-71. Жилые здания. – М., 1917. – С. 56.
4. Юркевич Ю., Желих В., Довбуш О. Тепло щезає через сходові клітки// Ринок інсталяцій. – 2001, № 12. – С. 22-24.
5. Возняк О., Довбуш О., Юркевич Ю., Желих В. Завдання енергетичного аудита не-виробничих об'єктів// Ринок інсталяцій. – 2002, № 12. – С. 23-24.

УДК 422.21.83

Докторант, доц. Я.І. Вихлюк, канд. фіз.-мат. наук –  
НУ "Львівська політехніка"

### МЕТОД СЕГМЕНТАЦІЇ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У ПРОЦЕСІ ФРАКТАЛЬНОГО РОСТУ В НЕЧІТКОМУ ПОТЕНЦІАЛЬНОМУ ПОЛІ

Запропоновано метод сегментації для прогнозування соціально-економічних процесів згідно з методологією аплікації методів фрактального росту кристалів у нечіткому потенціальному полі атрактивності. Розглянуто методику побудови нечіткого потенціального поля привабливості. Запропоновано методику модифікації та інтеграції класичних методів фрактального росту: дифузно обмеженої агрегації та "випадкового дощу" з теорією молекулярної динаміки. Запропонована методологія була апробована при прогнозуванні внутрішньої структури населених пунктів. Отримані структури добре корелюються з експериментальними даними, отриманими за допомогою сучасних ГІС-технологій.

*Person working for doctor's degree, assoc. prof. Ya.I. Vykhlyuk –  
NU "L'vivs'ka Politekhnika"*

### A method of segmentation of socio-economic objects is in the process of fractal growth in the unclear potential field

The method of segmentation is offered for prognostication of socio-economic processes in obedience to methodology of applique of methods of fractal growth of crystals in the unclear potential attractive field. The method of construction of the unclear potential field of attractiveness is considered. The method of modification and integration of classic methods of fractal growth is offered: diffusely limited agregations and "casual rain" with the theory of molecular dynamics. The offered methodology was approved at prognostication of underlying structure of settlements. Structures are got well correlate with experimental information got by modern GPS-technology

На сьогодні є актуальним питання програмного планування і прогнозування складноконтрольованих процесів у суспільстві. Ефективне вирішення цієї нагальної проблеми зумовлює використання різноманітних математичних методів і моделей. Застосування математичного апарату в економічних дослідженнях дає змогу розв'язувати конкретні задачі з побудовою прогностичних сценаріїв і можливістю передбачити формування та розвиток складних соціально-економічних процесів

Розвиток GPS-технологій і різноманітні інтернаціональні програми космічного зондування та фотографування Землі, створення цифрових карт

уможливили людині вільну орієнтацію на місцевості, отримувати топографічні дані, інформацію про місцезнаходження, планувати маршрут, отримувати зображення місцевості з космосу та інше [1]. Ці дані, у свою чергу, відкривають науковцям великі можливості з дослідження у сфері геоінформатики, геоінженерії, архітектури, соціології, економіки та в інших галузях наук. Відбитки більшості населених пунктів, зроблених з космосу, нагадують агрегований ріст кристалу на певних центрах (історико-культурних, розважальних, рекреаційних, промислових тощо), деформованих певним потенціальним полем. У цій роботі запропоновано метод сегментації при моделюванні слабоконтрольованих соціальних процесів згідно з методологією аплікації методів фрактального росту кристалів на прикладі прогнозування внутрішньої структури населених пунктів. Досліджено переваги та недоліки модифікованої теорії дифузно-обмеженої агрегації (ДОА) і "Випадкового дощу" та запропоновано алгоритм поєднання цих теорій.

Метою такого дослідження є створення й апробація методу сегментації структур, що зростають, в нечіткому потенціальному полі згідно з методологією аплікації методик фрактального росту кристалів для прогнозування складних соціальних процесів на прикладі прогнозування внутрішньої структури населених пунктів.

Актуальність дослідження полягає у розробленні концепції прогнозування структури слабоконтрольованих соціальних процесів, таких як розбудова міст і населених пунктів, пов'язана з активним розвитком зеленого туризму, утворення супутньої інфраструктури та інші, на базі добре відомих у фізиці твердого тіла методів фрактального росту кристалів у поєднанні з теорією нечіткої логіки.

Прогнозування геометрії росту населених пунктів та їх внутрішньої структури дасть змогу будувати відповідну інфраструктуру та комунікації з максимальною економічною вигодою, з'являється можливість передбачити структуру новобудов в околі новостворених туристично-рекреаційних систем (ТРС). Це, у свою чергою, дасть змогу оптимізувати стратегію розбудови ТРС, визначити спеціалізацію окремих сегментів населеного пункту та передбачити грошові потоки такої системи [2]. Основні процеси розбудови населених пунктів аналогічні до процесів, що спостерігаються при рості кристалів. Це дає змогу використати апробовані теорії ДОА та "Випадкового дощу" [3] для моделювання соціально-економічних процесів.

Однак відмінною рисою росту населених пунктів є те, що кристалізація (агрегація) відбувається не на одному центрі, як це спостерігається у фізичних явищах. У реальному житті таких центрів та областей кристалізації в межах досліджуваного об'єкта може бути декілька і вони мають, як правило, складну геометрію. Потенціальне поле атрактивності, у свою чергу, теж має складну форму. У великих містах і мегаполісах стратегія розбудови формується відповідно до експертних оцінок та дозволів відповідних установ. Розбудова невеликих поселень має імовірнісний характер і значною мірою залежить від атрактивності певної території. З вказаного вище зрозуміло, що класичні методи імітації росту кристала, дендритного та фрактального росту треба істотно модифікувати [4]. Для моделювання процесів росту фронту кристала в умовах наявності нелокальних потенціальних полів атрактивності

території необхідні нові чисельні методи та моделі, що поєднують та доповнюють наявні та перевірені підходи.

### Модель потенціального поля

На відміну від фізичних полів, потенціальне поле привабливості території для забудови складно формалізувати за допомогою апарату класичної математики. Це пов'язано з тим, що потенціальне поле привабливості території, насамперед, базується на людській логіці та людських почуттях. Крім того, величина потенціального поля атрактивності залежить від географічного розташування, рельєфу місцевості, наявності відповідної флори і фауни, температурного режиму, можливості сформувати відповідну транспортну інфраструктуру тощо. Враховуючи перелічені входні параметри, величину потенціального поля можна описати за допомогою математичного апарату нечіткої логіки.

У загальному випадку потенціал  $U$  записується у вигляді:

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

де:  $a_i$  – входні параметри,  $F$  – функція, яка визначає вигляд потенціалу.

Вигляд функції та вибір алгоритму нечіткого виведення (Мамдані, Сугено, Цукамото та ін. [5]) залежить від механізму побудови нечітких продукційних правил, що використовуються в експертних і керівних системах, які за основу мають базу знань, сформовану фахівцями-експертами предметної області або отриману внаслідок навчання нейромережі, навчальна множина якої, своєю чергою, 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 [6], розв'язуванні багатокритеріальних задач [7], визначенні конкуренції економічного зростання між регіонами в Китаї [8]. У роботі [9] ми довели можливість використання алгоритмів Мамдані та Сугено для визначення рекреаційного потенціалу. Було показано, що результати, отримані цими методами, добре корелюються з оцінками експертів. Тому в подальших розрахунках ми використовували один з цих алгоритмів, а саме: алгоритм Сугено з гаусівськими функціями приналежності [10]. 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.

### Алгоритм Сугено

Нехай база знань містить лише два нечіткі правила виду:

правило 1: якщо  $x \in A_1$  і  $y \in B_1$ , тоді  $z_1 = a_1x + b_1y$ , правило 2: якщо  $x \in A_2$  і  $y \in B_2$ , тоді  $z_2 = a_2x + b_2y$ .

1. Нечіткість: знаходяться ступеня істинності кожної передумови кожного правила

$$\mu_{A1}(x_0), \mu_{A2}(x_0), \mu_{B1}(y_0), \mu_{B2}(y_0). \quad (2)$$

2. Нечіткий висновок: знаходяться рівні "відсікання" для передумов кожного із правил (з використанням операції min)

$$\alpha_1 = \mu_{A1}(x_0) \wedge \mu_{B1}(y_0), \alpha_2 = \mu_{A2}(x_0) \wedge \mu_{B2}(y_0). \quad (3),(4)$$

Потім знаходяться "відсічені" функції належності

$$z^*_1 = a_1x_0 + b_1y_0, z^*_2 = a_2x_0 + b_2y_0. \quad (5),(6)$$

3. Знаходиться чітке значення змінної висновку:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z^*_1 + \alpha_2 z^*_2}{\alpha_1 + \alpha_2}. \quad (7)$$

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

$$\Delta_x = \bigcup_{k=0}^N \{x_k\}; \Delta_y = \bigcup_{l=0}^M \{y_l\} \quad (8),(9)$$

$$x_k = x_0 + kh_x, k = \overline{0, N}; \quad (10)$$

$$y_l = y_0 + lh_y, l = \overline{0, M}; \quad (11)$$

$$h_x = \frac{b-a}{N}; h_y = \frac{d-c}{M} \quad (12),(13)$$

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

Вхідні параметри поділяються на два типи: такі, що їх координати точно визначені за допомогою GPS-технологій (вектори доріг, історико-культурні центри тощо), та ті, які потрібно визначати власноруч (русло ріки, границя моря, схили тощо). Як правило, вхідні величини другого типу мають лише локальний вплив і є актуальними лише в межах прямокутної області  $\Delta = \Delta_x \times \Delta_y$  та, в більшості випадків, можуть розглядатись, як обмеження на можливість побудови будинку в певному околі.

Вхідні величини першого типу можна поділити на підгрупи: локально зосереджені та визначені за допомогою векторів. Локально зосереджені об'єкти (лікувальні води, історико-культурні центри, гірськолижні витяги, парки тощо) відіграють роль центрів кристалізації. А як вхідні параметри для визначення потенціалу привабливості використовуються не координати цих об'єктів, а віддалі до них.

За допомогою векторів визначаються, як правило, транспортні мережі. Беззаперечним є той факт, що розбудова житла, особливо того, що спеціалізується на зеленому туризмі, тяжіє до вже прокладених автошляхів. Це підтверджується численними знімками населених пунктів з космосу [1]. Із збільшенням віддалі до автошляхів привабливість території для забудови спадає. Тому як вхідні параметри нечіткого потенціалу привабливості ми запропону-

вали вибрати віддаль до найближчої дороги та віддаль по дорозі до найближчого центра кристалізації.

Нехай транспортні мережі досліджуваної території задані масивом:

$$w_f(x_{f1}, y_{f1}, x_{f2}, y_{f2}), f = \overline{1, n}, \quad (14)$$

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:

$$a = \sqrt{(x_{f1} - x_{f2})^2 - (y_{f1} - y_{f2})^2}; \quad (15)$$

$$b = \sqrt{(x_{f1} - x)^2 - (y_{f1} - y)^2}; \quad (16)$$

$$c = \sqrt{(x - x_{f2})^2 - (y - y_{f2})^2}. \quad (17)$$

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

$$h'_f = \frac{2}{a} \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}; p = \frac{a+b+c}{2}. \quad (18), (19)$$

Відрізки  $a_1$  та  $a_2$ , що визначають віддаль від основи висоти до вершин В та С відповідно, та координати основи висоти  $(x'_h, y'_h)$  визначаються за:

$$a_1 = \sqrt{b^2 - h'^2_f}; a_2 = \sqrt{c^2 - h'^2_f}; \quad (20), (21)$$

$$x'_{fh} = x_{f1} - (x_{f1} - x_{f2}) \frac{a_1}{a}; y'_{fh} = y_{f1} - (y_{f1} - y_{f2}) \frac{a_1}{a}. \quad (22), (23)$$

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

$$h_f = \begin{cases} a_1 + a_2 = a, h'_f, \\ a_1 + a_2 > a \text{ and } b < c, b, \\ a_1 + a_2 > a \text{ and } b > c, c. \end{cases} \quad (24)$$

Координати точки перетину відповідно:

$$(x_{fh}, y_{fh}) = \begin{cases} a_1 + a_2 = a, (x'_{fh}, y'_{fh}), \\ a_1 + a_2 > a \text{ and } b < c, (x_1, y_1), \\ a_1 + a_2 > a \text{ and } b > c, (x_2, y_2). \end{cases} \quad (25)$$

Тоді відстань до найближчої дороги визначається як:

$$h = \min_{f=1, n} (h_f). \quad (26)$$

### Модель модифікованої теорії дифузно-обмеженої агрегації (ДООА)

На сьогодні існує багато моделей, які описують незворотне об'єднання частинок у кластери. Хід агрегації описується нелінійними диференційними

рівняннями в частинних похідних. Розв'язок цих рівнянь як аналітичними, так і числовими методами наштовхується на великі складнощі. Один з можливих способів вивчення таких питань полягає у вивченні модельних систем, які в змозі породжувати такі структури. До найвідоміших методів можна віднести модель ДОА [2].

Класична модель ДОА дуже проста: частинки, що здійснюють випадкові переміщення, внаслідок 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 внаслідок такого процесу утворюються складні розгалужені фрактали [3, 4], що мають сферичну форму.

У нашому випадку частинка повинна рухатись в потенціальному полі, що має вплинути на форму фракталу. Для моделювання цього руху можна скористатись методами молекулярної динаміки [12-14].

Нехай в момент часу  $t$  частинка міститься в точці  $(x(t), y(t))$  та рухається зі швидкістю  $(v_x(t), v_y(t))$ . Тоді в проекції на осі на частинку буде діяти сила:

$$F_x(t) = -\frac{\partial U}{\partial x(t)}, \quad F_y(t) = -\frac{\partial U}{\partial y(t)}. \quad (27), (28)$$

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

$$F_l = -\beta v, \quad (29)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт опору.

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

$$a_x(t) = \frac{F_x(t) - \beta v_x(t)}{m}; \quad a_y(t) = \frac{F_y(t) - \beta v_y(t)}{m}; \quad (30), (31)$$

$$v_x(t + \Delta t) = a_x(t)\Delta t + v_x(t); \quad v_y(t + \Delta t) = a_y(t)\Delta t + v_y(t); \quad (32), (33)$$

$$x(t + \Delta t) = \frac{a_x(t)\Delta t^2}{2} + v_x(t)\Delta t + x(t); \quad (34)$$

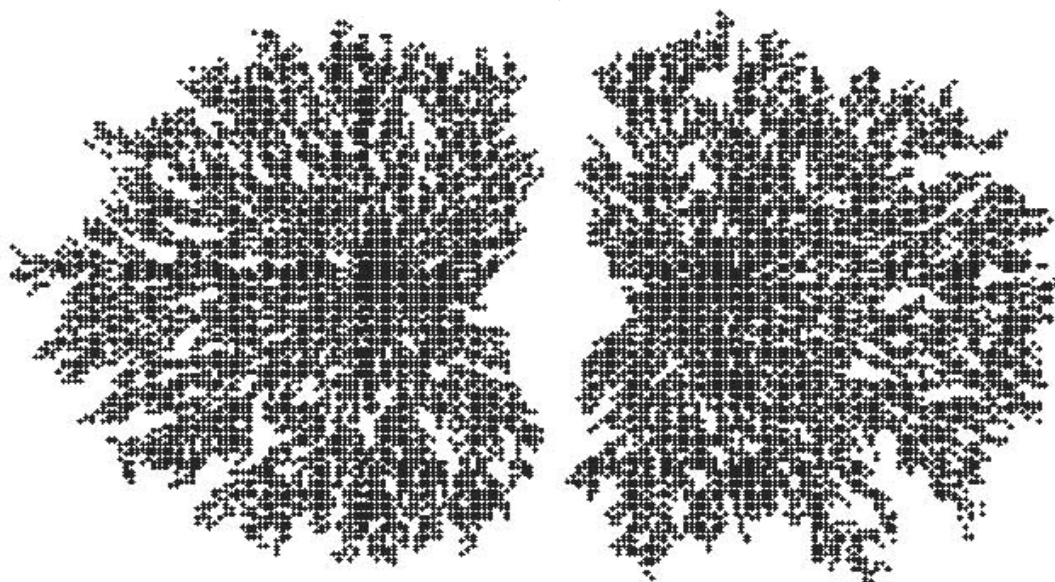
$$y(t + \Delta t) = \frac{a_y(t)\Delta t^2}{2} + v_y(t)\Delta t + y(t), \quad (35)$$

де  $m$  – маса частинки [15, 16].

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 показали наші дослідження, запропонований метод достатньо точно описує геометрію фронту росту населеного пункту. Однак цей метод має

істотний недолік: ріст кристалів, для моделювання чого і був розроблений ДОО, в більшості випадків відбувається або на одному центрі акреції, або на пластині чи дроті. Схожа ситуація спостерігається при моделюванні населеного пункту, розташованого вздовж певної кривої (узбережжя моря, дорога). У цьому випадку теж отримується хороше узгодження з наявними експериментальними даними. Однак більшість населених пунктів має розгалужену мережу інфраструктури та множину територіально розподілених центрів привабливості, навколо яких і відбувається ріст населеного пункту. Як показали наші розрахунки, наявність навіть двох розділених центрів акреції, призводить до появи порожніх областей, в які не можуть потрапити частинки ззовні, незалежно від форми траєкторії останніх (рис. 1). А це призводить до того, що в центрі міста утворюються порожні області, в яких відсутня забудова, чого насправді не спостерігається. Вказаний недолік легко усувається за допомогою моделі "Випадкового дощу".



*Рис. 1. Кластер в моделі ДОО, що росте, у випадку наявності двох центрів кристалізації*

### **Модифікована модель "випадкового дощу"**

Модель "випадкового дощу" (ВД) була запропонована Волдом та Сазерландом [4]. У моделі ВД частинки рухаються по певних визначених випадкових траєкторіях. У роботі [4] було показано, що найкраще узгодження з експериментом показує модель, в якій центр кластеризації розташовується в центрі досліджуваної області, 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 структури, схожі на отримані за допомогою моделі ДОО.

Основною перевагою моделі ВД над ДОО є істотно менший час розрахунку. Причому розмірність кластера Хаусдорфа-Безиковича  $D$  має тривіальне значення  $D = 2$  [2]. Як показали наші дослідження, класична модель ВД має істотні недоліки, а саме: наявність порожніх областей у випадку наявності декількох центрів кластеризації; модель не передбачає наявності потен-

ціального поля, яке деформує сферичні структури. Ми запропонували усунути ці недоліки таким чином.

### Врахування декількох центрів кластеризації

Нехай існує  $n$  центрів кластеризації. Для кожного центра визначається його нормована вага  $w_i$ . У випадку, якщо населений пункт має декілька центрів привабливості, вагові множники можуть бути розраховані, як відносна кількість туристів, які відвідали такі об'єкти за визначений період часу:

$$w_i = S_i / \sum_{i=1, n} S_i, \quad (36)$$

де  $S_i$  – кількість туристів, які відвідали  $i$ -й рекреаційний об'єкт.

Згідно з алгоритмом ВД, частинка рухається по випадковій хорді до одного з центрів кластеризації. Центр кластеризації для кожної частинки вибирається випадковим чином залежно від величини нормованої ваги  $w_i$  [17]. Для уникнення появи порожніх областей ми запропонували модифікувати алгоритм агрегації. Загалом алгоритм приєднання до кластера аналогічний до ВД, але після агрегації, створюється копія частинки ("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 "звичайна частинка" і алгоритм акреції продовжується за класичними правилами. Як показали наші дослідження, запропонована методика дає змогу уникнути першого недоліку моделі ВД.

### Врахування потенціального поля

Як відомо [12-16], потенціальне поле деформує траєкторії тіл. Однак, згідно з теорією ВД, траєкторії частинок залишаються незмінними протягом всього руху частинки. Тому ми запропонували інтерпретувати потенціальне поле привабливості як потенціальне поле імовірності агрегації частинки. Для цього початкове потенціальне поле досліджуваного регіону необхідно нормувати. Імовірність агрегації визначається, як імовірність настання двох незалежних подій, а саме: наявність поруч агрегованої частинки та "можливість" агрегації в заданій точці збоку потенціального поля  $U(x, y)$ . У наших розрахунках достовірність  $P_a(x, y)$  перебування поруч з рухомою частинкою агрегованого кластера приймалась за 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:

$$P(x, y) = U(x, y) \cdot P_a(x, y). \quad (37)$$

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.

Запропонований метод модифікації ВД дійсно дає змогу позбавитись порожніх областей та врахувати вплив потенціального поля при моделюванні

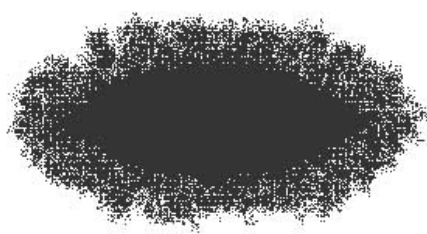


росту населеного пункту. Однак фронт отриманого фракталу характеризується розмитою структурою та наявністю великої кількості відособлених точок агрегації, які експериментально не спостерігаються.

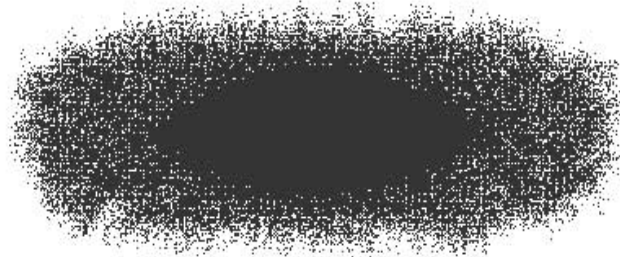
Для усунення недоліків кожного із розглянутих методів ми запропонували об'єднати ВД та ДОА за такими міркуваннями: розрахувати фрактальну структуру населеного пункту згідно з моделлю ВД; виокремити центр населеного пункту; отриманий кластер вважати єдиним центром агрегації; частинки, які не потрапили до кластера, вважаються вільними і продовжують рух в потенціальному полі згідно з ДОА, агрегуючись на єдиному кластері. Тим самим можна уникнути проблеми порожніх областей та коректно розрахувати фронт росту фракталу.

### Метод сегментації інфраструктурних елементів

Остаточна фрактальна структура досліджуваного об'єкта отримується за теорією ДОА. Як емпіричні показники цієї теорії виступають маса частинки та коефіцієнт опору середовища. Маса 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. 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'єкта населеного пункту (санаторій, готель, офіс, котедж, дача тощо) або інфраструктури (супермаркет, магазин, кіоск тощо). Густина середовища може бути інтерпретована, як міра інвестиційного сприяння регіону. На рис. 2 і рис. 3 наведено прогнозовані фрактальні структури у таких наближеннях: центр кристалізації розташований в центрі досліджуваного регіону; центр кристалізації перетинає пряма горизонтальна дорога. В експерименті використовувались частинки з масами  $m = 0.1$  (рис. 2.) та  $m = 0.01$  (рис. 3). З рисунків видно, що фрактальна структура, утворена легкими частинками (рис. 3), має більш витягнуту вздовж дороги структуру ніж, на рис. 2. Рисунки 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 чинять транспортні шляхи. Відмінність між отриманими фрактальними структурами може служити інструментом для визначення внутрішньої структури отриманих кристалів.



*Рис. 2. Фрактал в наближенні: центр-дорога,  $m = 0.1$*



*Рис. 3. Фрактал в наближенні: центр-дорога,  $m = 0.01$*

Нехай існує  $N$  типів елементів інфраструктури, що характеризуються масами  $m_i$ ,  $i=1 \div N$  та відносною кількістю  $p_i$ . Типи інфраструктури та їх кількість можуть бути визначені за статистичними даними, кластерним аналізом або експертними оцінками [18]. Ріст фракталу моделюється згідно з ДОА з такими модифікаціями:

- індекс  $i$  маси частинки  $m_i$  вибирається випадковим чином залежно від величини відносної кількості  $p_i$ ;
- агрегування відбувається на частинках з масами, рівними або більшими за масу рухомої частинки. Тобто інвестиційно потужні об'єкти витісняють малий бізнес [18].

### Алгоритм розрахунку

Розрахунок фрактальної структури населених пунктів складається з таких кроків.

**Крок 1. Визначення вхідних параметрів та обмежень.** Використовуючи сучасні ГІС-системи (в наших розрахунках була використана Google Earth), необхідно імпортувати світлину та "kml"-код досліджуваного регіону. З отриманого "kml"-коду визначаються географічні координати центрів кластеризації та вектори доріг. За (14)-(26) розраховуються матриці вхідних параметрів нечіткої моделі потенціального поля. Обмеження та додаткові вхідні параметри будуються з аналізу світлини та імпортуються у відповідні матриці (8)-(13).

**Крок 2. Розрахунок потенціального поля.** Використовуючи методику побудови агрегованих показників привабливості [7-9], що базується на алгоритмі нечітких висновків [5], розраховується карта потенціального поля привабливості (2)-(7). Як вхідні параметри моделі слугують матриці, отримані на першому кроці (8)-(13).

**Крок 3. Ініціалізація центрів кластеризації.** Ініціалізується нульова матриця  $FT$  розмірності  $n \times m$ , що покриває досліджуваний регіон ( $FT(0, 0)$  – відповідає верхньому лівому куту отриманої світлини,  $FT(n-1, m-1)$  – правому нижньому). Географічні координати центрів кластеризації, отримані на кроці 1, перетворюються в координати матриці  $FT$ . Відповідним вузлам  $FT$  присвоюється значення "1". Одиничне значення елемента матриці визначає агреговану частинку.

**Крок 4. Моделювання фрактального росту за методом ВД.** Згідно з ваговим коефіцієнтом  $w_i$ , випадково вибирається центр акреції (36). У випадковій нульовій комірці матриці  $FT$  на великій віддалі  $R$  від центру акреції ініціалізується рухома частинка. Випадково визначається кривизна траєкторії. Згідно з вибраною траєкторією, частинка рухається до центру акреції, залишаючи агреговані власні копії відповідно до модифікованого методу ВД (37). Крок 4 повторюється визначену велику кількість разів  $N$ .

**Крок 5. Вилучення центру агрегації.** Частинки, що мають менше двох сусідів, вважаються вільними та переносяться в окрему матрицю  $FP$ . Отримана матриця  $FT$  описує агрегований кластер (центр населеного пункту).

**Крок 6. Моделювання фрактального росту за методом ДОА.** Випадково вибрана з матриці  $FP$  частинка ініціалізується в матриці  $FT$ . Відповідно

до запропонованого методу сегментації випадково вибирається маса частинки. За (27)-(35) визначається прискорення, координата та швидкість точки в наступний момент часу. Ітерації продовжуються, поки частинка не агрегує при дотриманні обмежень або кількість ітерацій не перевищить визначеного великого числа  $M$ . Крок 6 повторюється, поки матриця  $FP$  не стане нульовою.

**Крок 7. Відображення результату моделювання.** Отримана на кроці 6 матриця  $FT$ , проектується на площину у вигляді точкового графіка. Для отримання більшої наочності результатів координати ненульових комірок матриці  $FT$  перетворюються в географічні координати досліджуваного регіону. Використовуючи ГІС-редактори карт (наприклад, Google Map), отримані дані імпортуються в "kml"-код, що підключається додатковим проширком в Google Earth.

### Комп'ютерний експеримент

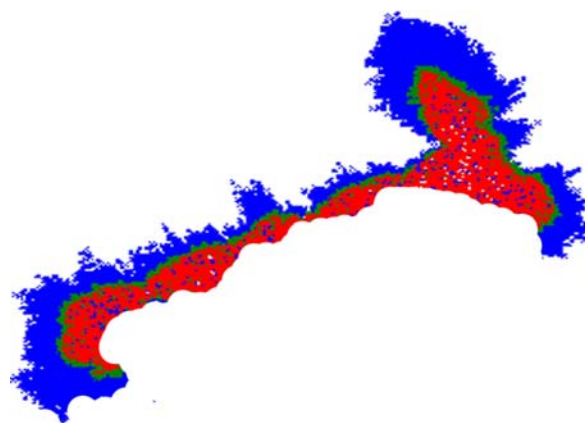
Для апробації моделі ми вибрали відоме курортне приморське містечко Судак південно-східного Криму.

До визначних місць Судака можна віднести добре збережену Генуезьку фортецю XI-XIV ст., курортну архітектуру XIX ст., чаруючі природні краєвиди, виноробний радгосп-завод "Судак", що випускає марочні вина, аквапарк. У декількох кілометрах від Судака розташований Новий Світ – курортне містечко. У Новому Світі розташовується колишній маєток Лева Голіцина – одного із засновників російського виноробства, і завод шампанських вин. Навколо містечка розташований ботанічний заповідник з унікальними рослинами, живописні бухти з гротами.

У першому наближенні при розрахунку потенціального поля вхідними параметрами нечіткої моделі, основаної на алгоритмі нечіткого виведення Сугено, були вибрані віддалі до згаданих вище об'єктів, до доріг, віддалі дорогою до найближчого об'єкта та геометрія морського узбережжя. Особливості рельєфу не враховувались.

Розрахунки методом модифікованого ВД здійснювалися в наближеннях, описаних вище. Всього в ході експериментів досліджувався рух 10 000 частинок. Розрахунки методом модифікованого ДОА здійснювалися з такими наближеннями. Початкова швидкість частинки вибиралась випадково. Використовувались дзеркальні граничні умови [16]. Тобто, покинувши досліджуваний регіон на одній грані, частинка з'являлась з протилежного боку при збереженні всіх інших динамічних показників. У ході експерименту використовувались частинки масами  $m_1 = 1$ ;  $m_2 = 0.1$ ;  $m_3 = 0.01$ . Відносна кількість становила:  $p_1 = 0.1$ ;  $p_2 = 0.2$ ;  $p_3 = 0.7$ . Коефіцієнт в'язкого тертя становив  $\beta = 10^{-4}$ .

При дослідженні регіону Судак – Новий Світ отримана фрактальна структура складала приблизно 24 000 агрегованих частинок. Загальна структура отриманого фракталу показує добру кореляцію з наявною структурою регіону (рис. 4, 5). Ріст фракталу при моделюванні цього регіону нагадує проєкцію росту фізичного кристалу на площині. Основні об'єкти привабливості розташовані вздовж узбережжя та біля дороги. Як видно з рис. 5, врахування обмежень перешкоджає росту фракталу в зоні моря.



*Рис. 4. Судак, Новий світ (світлина з космосу)*

*Рис. 5. Прогнозована фрактальна структура Судака та Нового Світу*

Рис. 5 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 становить невеликий прошарок, порівняно з дорогими елементами інфраструктури, незважаючи на те, що початкова кількість агрегованих частинок маси  $m=0.1$  вдвічі перевищує  $m=1$ . Отже, наочно спостерігається поглинання середнього бізнесу великим. Елементи, що відповідають масі  $m=0.01$ , розташовуються на віддалі від основних центрів привабливості та тяжіють до дороги.



*Рис. 6. Сегменти фрактальної структури Судака та Нового Світу:  
а)  $m=1$ , б)  $m=0.1$ , в)  $m=0.01$*

Структури окремих сегментів подано на рис. 6. З цього рисунку видно, що елементи середнього бізнесу дійсно становлять невеликий прошарок між елементами великого та малого бізнесу. Причому проникнення таких елементів в зону дорогої інфраструктури незначне, чого не можна сказати про малий бізнес. З рис. 6 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.

Схожість теоретичних структур та отриманих сегментів з експериментальними підтверджує справедливість запропонованого методу сегментації та

може слугувати фундаментом для подальших теоретичних і практичних досліджень.

### **Висновки**

Розглянуто та обґрунтовано можливість застосування апарату фрактального росту кристалів для моделювання слабоконтрольованих соціальних процесів на прикладі прогнозування геометричної форми населених пунктів при розвитку туризму.

Наведено метод побудови нечіткого потенціального поля привабливості. Визначено та структуровано типи вхідних параметрів і обмежень. Запропоновано алгоритм розрахунку вхідних параметрів нечіткої моделі.

Наведено детальний опис та обґрунтування запропонованої автором модифікованої моделі дифузно-обмеженої агрегації. Показано, що врахування елементів апарату молекулярної динаміки, сили в'язкого тертя й обмежень в моделі ДОА дає змогу адекватно описувати рух акреційованої частинки в нечіткому потенціальному полі.

Наведено детальний опис та обґрунтування запропонованої автором модифікації моделі фрактального росту "випадковий дощ". Показано, що методика врахування декількох центрів кластеризації та визначення імовірності агрегації частинки дають змогу адекватно описувати рух акреційованої частинки в нечіткому потенціальному полі.

Запропоновано алгоритм поєднання методів ВД та ДОА з метою усунення недоліків та отримання максимальної адекватності моделі. Розроблено метод сегментації внутрішньої структури кластера, що росте. Структурно подано алгоритм комп'ютерного експерименту.

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 тенденції наявної інфраструктури.

Хороше корелювання експериментальних та отриманих при розрахунку даних доводить адекватність запропонованої методології та дає змогу використовувати її для подальшого прогнозування як геометричної форми, так і внутрішньої структури населених пунктів. Це дасть змогу при формуванні програм розвитку туризму в регіоні, місті, населеному пункті планувати центри туристичної привабливості та створювати відповідну інфраструктуру.

### **Література**

1. **Крючков Н.А., Абламейко С.В., Апарин Г.П., Соболев Л.Н.** Создание тематических карт на основе данных дистанционного зондирования и цифровых карт// Штучний Інтелект, 2006, № 2 – С. 328-331.
2. **Ткаченко Т.І.** Сталий розвиток туризму: теорія, методологія, реалії бізнесу. – К.: КНТЕУ, 2006. – 537 с.
3. **Кроновер Р.** Фракталы и хаос в динамических системах. – М.: Техносфера, 2006. – 488 с.
4. **Фракталы в физике.** Труды VI международного симпозиума по фракталам в физике. Под ред Л. Пьетронеро. – М.: Мир, 1988. – 670 с.

5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH// СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
6. Петренко В.Р., Кашуба С.В. Нечітка модель аналізу ефективності бізнес-процесів підприємства// Складні системи і процеси. – 2006, № 2. – С. 18-26.
7. Tsung-Yu Chou, Mei-Chyi Chen, Chia-Lun Hsu. A fuzzy multi-criteria decision model for international tourist hotels location selection// International Journal of Hospitality Management. In Press.
8. Shengquan Ma, Jing Feng, Huhua Cao. Fuzzy model of regional economic competitiveness in GIS spatial analysis: Case study of Gansu, Western China// Fuzzy Optim Decis Making, 2006. – #5. – P. 99-111.
9. Виклюк Я.І. Картографічне моделювання рекреаційного потенціалу євро регіону "Верхній Прут" на основі нечіткої логіки// Відбір і обробка інформації. – 2008, № 28(104).
10. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB 6.5 SP1/1 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. Серия "Библиотека профессионала". – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 456 с.
11. Кифяк В.Ф., Виклюк Я.І., Кифяк О.В. Визначення оптимальних рекреаційно-туристичних зон в умовах транскордонного співробітництва// Формування ринкових відносин в Україні. – 2007, № 1 (68). – С. 132-136.
12. Mari A. Carmen Perez-Martin, Jose. J. Jimenez-Rodriguez, Jose. Carlos Jimenez-Saez Shallow boron dopant on silicon An MD study// Applied Surface Science, 2004. – #234, – P. 228-233.
13. Gustavo J. Sibona, Sascha Schreiber, Ronald H.W. Hoppe, Bernd Stritzker, Adrian Revnic Numerical simulation of the production processes of layered materials// Materials Science in Semiconductor Processing, 2003. – N 6. – P. 71-76.
14. Won Ha Moon, Ho Jung Hwang Atomistic study of elastic constants and thermodynamic properties of cubic boron nitride// Materials Science and Engineering, 2003. – N B103, – P. 253-257.
15. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике: Пер. с англ.: В 2-х ч. – М.: Мир. – 1990. – Ч.1. – 349 с.
16. Каплан И.Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. – М.: Наука, 1982. – 311 с.
17. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнича група BHV, 2005. – 352 с.
18. Маркетинг в туризме: Учеб. пособие/ А.П. Дурович. – 3-е изд., стереотип. – Мн.: Новое знание, 2003. – 496 с.

УДК 338.5.01:621 *Аспір. Л.В. Лаврентів<sup>1</sup> – НУ "Львівська політехніка"*

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЦІНИ ІННОВАЦІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ НА ОСНОВІ АДЕКВАТНОГО ПІДХОДУ

Розглянуто обґрунтування ціни інноваційної продукції в системі "розробник-споживач" на основі адекватного підходу.

**Ключові слова:** ризик, адекватний підхід, одноразова оплата багаторазові поточні платежі.

*Post-graduate L.V. Lavrentiv – NU "L'vivs'ka Politekhnika"*

### Substantiation of the price of an innovative product of mechanical engineering on the basis of the adequate approach

During the sale of an innovative product a problem of adequacy of the price appears quite often. Usually the price is underestimated. Adequacy consists in that the inventor received an adequate part of profit on the common economic benefit. Such approach allows to make and solve the equations. Their decisions show combinations of different variants of payment: disposable, a royalty, mixed payments.

<sup>1</sup> Наук. керівник: доц. І.Б. Скворцов, канд. екон. наук – НУ "Львівська політехніка"