

УДК 711.4

к.т.н., ст. викладач Гоблик А.В.  
Національний університет «Львівська політехніка»

## МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ЕФЕКТІВ ПРИРОСТУ ПОТЕНЦІАЛУ ПРОСТОРОВОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕРИТОРІЇ

*Анотація:* з використанням методу наведеного потенціалу змодельовано та досліджено нелінійні ефекти, що виникають в містобудівній системі.

*Ключові слова:* потенціал просторової організації території, метод наведеного потенціалу, нелінійний ефект, синергетика, містобудівна система.

В умовах прискореного зростання міст і активної урбанізації територій в ХХІ столітті все більш актуальною стає проблема розуміння поведінки містобудівних систем, передбачення можливих варіантів їх розвитку з метою побудови обґрунтованих моделей управління такими системами та розробки відповідних планів їх розвитку. Містобудівна система відноситься до відкритих систем. Тому, при переході її з одного рівня впорядкованості на інший можливе виникнення синергетичних ефектів: нелінійне зростання її потенціалу за рахунок нелінійності її елементів і взаємовпливів елементів системи, виникнення точок біфуркацій, в яких змінюється сценарій розвитку системи та інше. Дослідження природи виникнення таких ефектів дозволить встановити певні закономірності в розвитку містобудівних систем, що необхідно для обґрунтованої планувальної діяльності.

Зауважимо, що у світовій науці в останній час домінує синергетичний підхід [1-3] для дослідження подібних ефектів в системах різної складності та природи. В останній період в теорії містобудування з'явилися нові роботи [4, 5], в яких здійснено спробу побудувати теорію розвитку містобудівних систем на основі нових парадигм, запропонованих в роботах [1,2].

Відмічаючи теоретико-методологічне значення цих робіт, зауважимо далі, що для розробки обґрунтованих прогнозів розвитку містобудівних систем необхідно застосовувати комп'ютерні технології, за допомогою яких можна моделювати вказані ефекти. Останнє потребує відповідної формалізації задач дослідження виникнення та прояву синергетичних ефектів в розвитку містобудівних систем, розробки алгоритму їх розв'язку з використанням комп'ютерних технологій.

**Метою роботи** є дослідження нелінійних ефектів, що виникають в містобудівній системі в процесі її розвитку.

Основи для створення метода дослідження нелінійних ефектів в містобудівній системі були розроблені автором у роботах [6-8]. Такі ефекти можливо

моделювати, якщо використовувати поняття комплексного потенціалу, а далі, застосовуючи метод наведеного потенціалу, звести опис розвитку містобудівної системи до математичної моделі у вигляді систем алгебраїчних рівнянь (лінійних або нелінійних, однорідних або неоднорідних).

В даній роботі, в якості **новизни**, наведені приклади застосування методу наведеного потенціалу для комп'ютерного моделювання особливостей виникнення нелінійних ефектів в містобудівних системах.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.** Дослідження безпосередньо пов'язане з виконанням наукової програми кафедри містобудування Національного університету «Львівська політехніка» – «Розвиток і реконструкція територіальних систем і населених місць регіону Західної України» та розробкою науково-дослідних тем Інституту регіональних досліджень НАН України (м. Львів): «Принципи та закономірності просторового розвитку регіональних систем» 2004 р., (№ 0103U007432); «Розвиток нових форм транскордонного співробітництва України» 2009 р., (№ 0108U010369).

**Метод наведеного потенціалу просторової організації території.** Суть метода пояснимо на нижче наведеному прикладі. Нехай задана одновимірна містобудівна система, що складається з  $n$  елементів (лінійно розташованих відносно один одного земельних ділянок з координатами  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ). Нехай просторова організація кожної земельної ділянки описується деяким потенціалом  $P_{nom}$ . Дослідження реальних містобудівних ситуацій дозволяє зробити висновок про те, що потенціали  $P_{nom}$  складових містобудівної системи можуть наводитися один на одного завдяки відповідним носіям наведеного потенціалу, що в результаті приводить до зміни величин  $P_{nom}$ . Пояснимо далі це явище на прикладі. Нехай ділянка з координатою  $x_1$  освоєна під житловий багатоквартирний будинок, сусідня ділянка, з координатою  $x_2$  освоєна під продовольчий магазин. Очевидно, що завдяки такому сусідству, потенціали  $P_{nom}$  можуть наводитися один на одного, і закономірно взаємно зростають величини цих потенціалів  $P_{nom}^1$  і  $P_{nom}^2$ . Зауважимо, що в реальній містобудівній ситуації такий взаємовплив і збільшення величин потенціалів залежить від носія наведеного потенціалу. В даному прикладі таким носієм є людина. Оскільки саме людина зацікавлена в придбанні товарів поблизу свого житла, а власники магазину зацікавлені в достатній клієнтурі для забезпечення розвитку свого підприємства. Таким чином, грошова вартість квартири в даному будинку, а також вартість магазину взаємозалежать один від іншого, за умови, що ці об'єкти необхідні людині. Уточнимо, що в реальних містобудівних системах взаємозв'язки між елементами, як правило, несиметричні.

В роботі [7] розроблена математична модель (1), яка описує процес переходу просторової організації містобудівної системи з одного стану в інший з

врахуванням параметричного взаємовпливу елементів містобудівної системи. В основі даної моделі лежить метод наведеного потенціалу.

$$F_{pp} \times \Delta I_p + \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq p}}^n F_{pq} \times \Delta I_q = \Delta P_p, \quad (1)$$

де:  $p, q = 1, 2, \dots, n$ ;  $p, q$  – індекси, якими позначені елементи (земельні ділянки) містобудівної системи;  $\Delta P_p$  – приріст потенціалу просторової організації території;  $F_{pp} = (1 - R_{pp}) \times A_{pp}$ ;  $R_{pp}$  – коефіцієнт, який описує величину втрат потенціалу  $\Delta P_p$  за рахунок ризиків в  $p$ -ому елементі (ділянці),  $R_{pp}$  – приймає значення від 0 до 1;  $A_{pp}$  – оператор, який перетворює інвестиції  $\Delta I_p$  в приріст потенціалу  $\Delta P_p$ ;  $\Delta I_p$  і вимірюються в грошових одиницях,  $F_{pq}$  – коефіцієнти, які враховують взаємний вплив інвестицій на приріст потенціалу.

**Комп'ютерний експеримент.** Розглянемо приклад застосування методу наведеного потенціалу для задачі моделювання синергетичного ефекту в містобудівній системі, який виникає при її переході з одного рівня впорядкованості на інший за рахунок появи нелінійної залежності елементів  $F_{pq}$  системи рівнянь (1) від величини  $\Delta I_p$ .

Нехай задана містобудівна система, що складається з 19 елементів – земельних ділянок, з яких вісімнадцять, з порядковими номерами  $p = 1, 2, \dots, 9, 11, 12, \dots, 19$ , освоєні під житлові будинки, рівноцінні між собою і відповідно володіють однаковим потенціалом  $P_{ном}$ . Допустимо, що існуючі зв'язки між цими елементами спочатку відсутні і відповідно дорівнюють нулю. Нехай, далі, буде освоєна ще одна ділянка з порядковим номером 10 під торговий комплекс в результаті вкладення інвестицій в першому кварталі в об'ємі  $I_{10}(1) = 1,0$  млн. у. о. В результаті появи об'єкту № 10, що володіє привабливістю для жителів сусідніх будинків виникають взаємні зв'язки між елементами містобудівної системи (рис. 1).

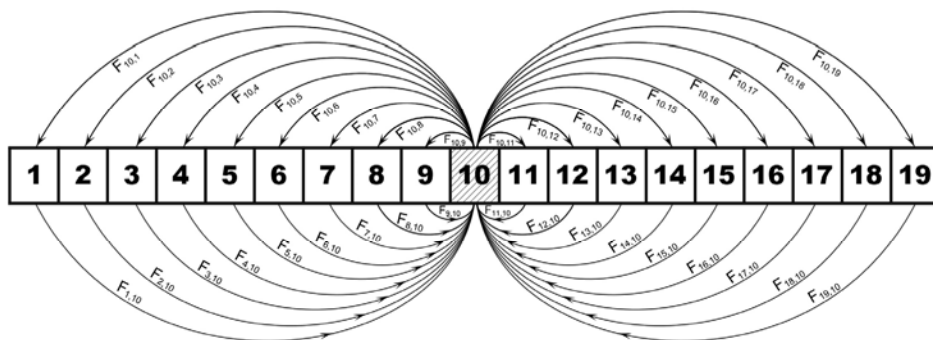


Рис. 1. Взаємозв'язки між елементами містобудівної системи

Взаємні зв'язки можуть з часом посилюватися за рахунок розширення функціональних можливостей об'єкта № 10 завдяки додатковому вкладенню в цей об'єкт інвестицій  $\Delta I_p$ . Зауважимо, що поява таких взаємозв'язків вплине в кінцевому результаті на величину сукупного потенціалу  $P_{sum}(k)$  всієї системи. Уточнимо, що ця величина в результаті прояву системних ефектів не буде дорівнювати простій сумі всіх потенціалів елементів системи.

Для демонстрації прояву нелінійних системних ефектів припустимо, що протягом трьох наступних кварталів в об'єкт №10 додатково вкладаються однаковими порціями інвестиції величиною 0.2 млн. у. о. Тобто, приріст інвестицій має лінійну залежність.

Допустимо далі, що величини взаємних зв'язків між елементом №10 і всіма іншими елементами ( $p = 1,2,\dots,9,11,12,\dots,19$ ) володіють властивістю симетрії і визначаються наступним виразом  $F_{10,p}(k) = 0,1 \times (I_{10}(1) + \Delta I_{10}(k))^2$ . Де  $\Delta I_{10}(k)$  – величини інвестицій, що вкладаються в елемент №10 щоквартально, символом  $k$  позначено номер кварталу ( $k = 2,3,4$ ;  $\Delta I(2) = \Delta I(3) = \Delta I(4) = 0.2$  млн. у. о.).

Застосовуючи далі метод наведеного потенціалу отримуємо розрахунковим шляхом з використанням моделі (1) величини приросту потенціалу  $\Delta P_p(k)$  кожного елемента містобудівної системи ( $p = 1,2,3,\dots,19$ ) у поточному кварталі, а також величини приросту сукупного потенціалу (рис.2 – 5)  $P_p(k) = \sum_p \Delta P_p(k)$  містобудівної системи в кварталах 1,2,3,4.

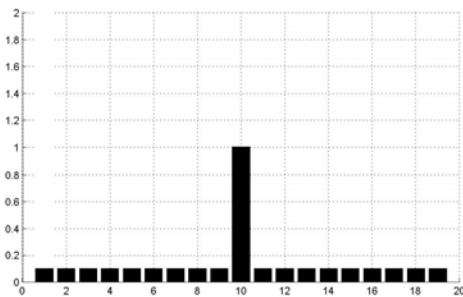


Рис. 2.  $P_p(1) = 2,802$ , якщо  $I_{10}(1) = 1,0$

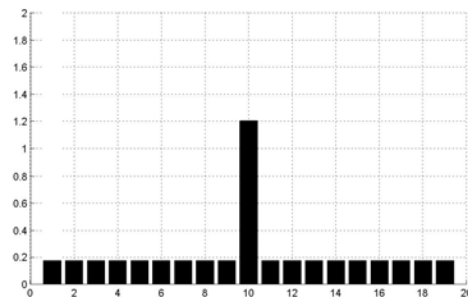


Рис. 3.  $P_p(2) = 4,3125$ , якщо  $I_{10}(2) = 1,2$

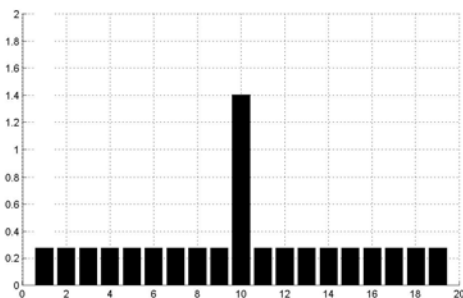


Рис. 4.  $P_p(3) = 6,3414$ , якщо  $I_{10}(3) = 1,4$

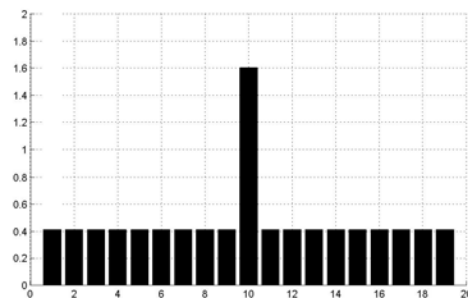


Рис. 5.  $P_p(4) = 8,9751$ , якщо  $I_{10}(4) = 1,6$

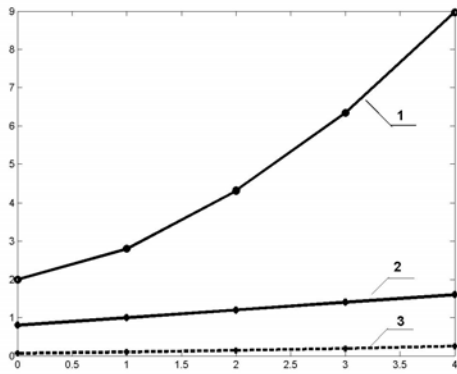


Рис. 6. Графіки: (1) – ріст потенціалу  $P_{sum}(k)$ ; (2) – збільшення інвестицій  $I_{sum}(k)$ ; (3) – закон взаємовпливу

$$F_{10,p}(k).$$

Графік 2 (рис.6) демонструє лінійне збільшення інвестицій  $I_{sum}(k)$  протягом одного року, в той же час збільшення сукупного потенціалу  $P_{sum}(k)$  за цей самий період часу (графік 1, рис.6) відбувається нелінійно, за рахунок нелінійного збільшення взаємозв'язків  $F_{10,p}(k)$  між об'єктами (графік 3, рис.6).

**Висновки.** Розрахунками продемонстровано виникнення ефекту нелінійного приросту сукупного потенціалу містобудівної системи за рахунок слабкої нелінійності взаємовпливів її елементів при лінійному характері зростання величини інвестицій, які вкладаються протягом часового інтервалу в систему.

Застосування методів теорії комплексних чисел [9] разом із введеним поняттям комплексного потенціалу [6] та методом наведеного потенціалу дозволить описувати на математичному рівні синергетичні ефекти, характерні для відкритих нерівновісних систем, до яких належать містобудівні системи. Це забезпечить підвищення рівня наукової обґрунтованості розробки сценаріїв розвитку містобудівних систем з врахуванням все зростаючих ризиків як антропогенного так і природного характеру.

### Література

1. Пригожин И. Конец определённости. Время, хаос и новые законы природы. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». – 2001. 208с.
2. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 240 с., ил.
3. Пугачева Е.Г., Соловьенко К.Н. Самоорганизация социально-экономических систем: Учеб. Пособие. – Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2003.–172с.
4. Тарасова Л.Г. Градостроительное планирование и регулирование развития крупных городов с учетом действия процессов самоорганизации: автореф.

- дис. на соискание ученой степени д-ра архитектуры: спец. 05.23.22 «градостроительство, планировка сельских населенных пунктов» / Московский архитектурный институт. – М., 2010. – 40 с., включ. обл.: – Библиогр.: с. 38 – 40.
5. *Тімохін В.О.* Гармонічність еволюційної динаміки самоорганізації містобудівних систем: дис. на здобуття наук. ступеня.. д-ра архітектури: 18.00.01 “Теорія архітектури, реставрація пам'яток архітектури” / Київський національний ун-т будівництва і архітектури. – Київ, 2004. – 34 с., включ. обл.: іл. – Бібліогр.: с. 32–34.
6. *Гоблик А.В.* Оптимізація просторової організації територій в зоні підвищених ризиків з використанням поняття потенціалу // Системний аналіз та інформаційні технології: Матер. VI Міжнар. наук.-практ. конф. – К.: НТУУ “КПІ”, 2004. – С. 19 – 20.
7. *Габрель М.М., Гоблик А.В.* Проблеми підвищення ефективності вкладення інвестицій в розвиток містобудівних систем та шляхи їх вирішення // Соціально – економічні дослідження в перехідний період. Регіональні суспільні системи. Вип. 3 (XLVII) / НАН України. ІРД. – Ч. I. – Львів, 2004. – С. 231 – 239.
8. *Гоблик А.В.* Оптимізація просторової організації територій в зоні підвищених ризиків: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.20 “Містобудування і територіальне планування” / Київський національний ун-т будівництва і архітектури. – Київ, 2006. – 20, [1] с., включ. обл.: іл. – Бібліогр.: с. 17–18.
9. *Шабат Б.В.* Введение в комплексный анализ. – М.: «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 576 с.

**Аннотация:** с использованием метода наведенного потенциала смоделированы и исследованы нелинейные эффекты, возникающие в градостроительной системе.

*Ключевые слова:* потенциал пространственной организации территории, метод наведенного потенциала, нелинейный эффект, синергетика, градостроительная система.

**Abstract.** The nonlinear effects arising in urban system are simulated and investigated with the use of a method of the induced potential.

*Keywords:* potential of the spatial organization of territory, a method of the induced potential, nonlinear effect, synergetics, urban system.