

UDC 711.4.01:504

**PHYSICS OF FLUCTUATIONS IN SPACE-TIME DIMENSIONS OF THE DEVELOPMENT OF URBANIZED TERRITORIES AS ECOLOGIC-URBAN PLANNING SYSTEMS****ФІЗИКА КОЛИВАНЬ У ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ВИМІРАХ РОЗВИТКУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ЯК ЕКОЛОГО-МІСТОБУДІВНИХ СИСТЕМ**

Ustinova Iryna / Устінова І.І.

*Doctor of Architecture, Prof / д. арх. проф.*

ORCID: 0000-0002-1728-0200

*Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Povitroflotskyi 31, 03037**Київський національний університет будівництва та архітектури,**Київ, Повітрофлотський 31, 03037*

*Анотація. В роботі викладено теоретичні основи науково обґрунтованого управління сталим розвитком урбанізованих територій як еколого-містобудівних систем "населення ↔ середовище". Встановлено, що ці системи підпорядковано дії фундаментального закону сталого розвитку відкритих систем – закону збереження потужності, який у досліджуваній площині розкривається законом екосистемної саморегуляції. Виявлено, що зміни головних показників стану еколого-містобудівних систем (територія, чисельність населення, демографічна ємність, їх співвідношення та динаміка змін) мають сутнісний збіг із механічними та електромагнітними коливаннями. Означене дозволило перекласти виміри цих показників на мову універсальних просторово-часових фізичних величин.*

*Ключові слова: сталий розвиток, урбанізовані території, екосистемна саморегуляція, еколого-містобудівні системи, просторово-часові виміри.*

*Abstract. The research outlines the theoretical foundations of urban areas sustainable development science-based management as ecologic-urban planning systems "population ↔ environment". It was established that these systems are the subject to the fundamental law of open systems sustainable development - the Law of Conservation of Power, which in the investigated plane is revealed by the law of ecosystem self-regulation. It was found that changes in the main state indicators of ecologic-urban planning systems (territory, population, demographic capacity, their ratio and the dynamics of changes) have a substantial coincidence with mechanical and electromagnetic fluctuations. All above mentioned made it possible to translate the measurements of these indicators into the language of universal spatial and temporal physical quantities.*

*Key words: sustainable development, urbanized territories, ecosystem self-regulation, ecologic-urban planning systems, spatial and temporal dimensions.*

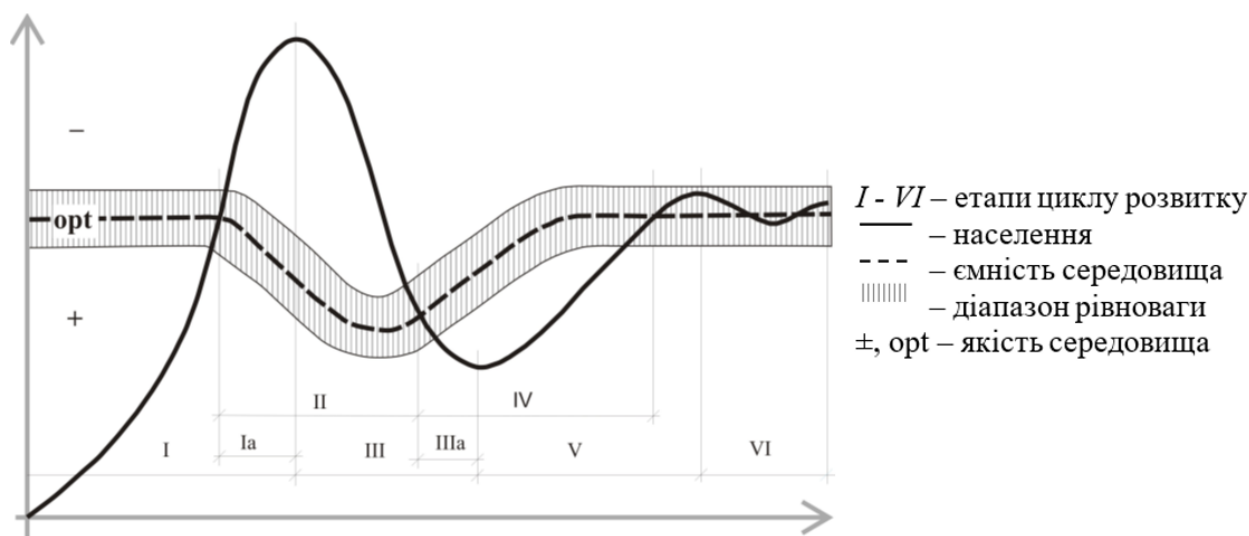
**Вступ.** Уявлення, які склалися, змінити набагато важче ніж заново опанувати предмет. Однак в умовах екзистенційного випробовування людства, яке за розрахунками В. Піса та М. Вакернейгела, у 1986 році перейшло межу збалансованого розвитку, перевищивши біологічну ємність планети [1], ми маємо це зробити заради розуміння цілісності світу, виживання людства та збереження цивілізації.

Науковим підґрунтям формування такого світогляду, безумовно, є вчення про біо- та ноосферу Е. Леруа – Т. де Шардена – В. Вернадського, згідно з яким, глобальна екосистема Землі знаходиться в стані динамічної рівноваги та характеризується відносно повільною зміною своїх системних параметрів [2, 3, 4]. Аналогічне встановлено й сучасною фізикою, згідно з якою, «...сталість основних структурних елементів Всесвіту – ядер атомів, зірок і галактик є

вкрай критичною, по відношенню до числових значень констант», порівняно невеликі зміни яких «могли б призвести до формування якісно інакшого світу, в якому, зокрема, стало б неможливим виникнення ... життя» [5, с. 4].

**Основний текст.** Плином процесів у світі керують певні закони природи, яким, безумовно, підпорядковано і процес розвитку урбанізованих територій як еколого-містобудівних систем (ЕМС) «населення ↔ середовище» [6]. Природа, як відкрита динамічна система, має нелінійні властивості та позмінне прагнення до порядку чи хаосу. Коливання та ритми, як складові упорядкованого стану природних сфер, приходять до нас із глибин Космосу, викликаючи коливання у всій сонячній системі. У цьому сенсі, Життя на Землі є вимушеним процесом, плин якого зумовлено потоком енергії (потужністю) Сонця. Фундаментальний закон збереження потужності, який зумовлює сталість розвитку відкритих систем, у свій час був відкритий Лагранжем (1788) й Максвелом (1855) [7, 8, 9].

Проявом закону збереження потужності, у площині що досліджується, є закон екосистемної саморегуляції (Рисунок 1). В межах дії цього закону, кожна територія має певну «демографічну сталу», як-то демографічну ємність, резерв якої зумовлює зростання чисельності населення ЕМС (Рисунок 1, етапи I, V), а її вичерпання (із певною затримкою в часі) – його скорочення (Рисунок 1, етап III). Поняття ж “демографічний вибух” (Рисунок 1, етап I), “екологічна криза” (Рисунок 1, етап Ia), “депопуляція” (Рисунок 1, етап III) та “стабілізація чисельності” населення у діапазоні рівноваги (Рисунок 1, етап VI) визначають різні етапи у циклі розвитку системи «населення ↔ середовище» [6, 10].



**Рисунок 1 - Закон екосистемної саморегуляції**

Авторська розробка за В. Дольніком

Джерела: [6, 10]

У цьому сенсі, розвиток урбанізованих територій як ЕМС стає цілеспрямованим й прогнозованим, а отже, й керованим процесом із заданими параметрами цілі – сталий розвиток у діапазоні екологічної рівноваги [6, 11].

Зростання-скорочення чисельності населення ЕМС, в екологічній площині відповідає зниженню-збільшенню запасу її демографічної ємності (Рисунок 1); а

в містобудівній – збільшенню-зменшенню щільності населення міст та площі урбанізованих регіонів. Циклічність змін сприятливості-несприятливості якості середовища (Рисунок 1) та умов розвитку системи «населення ↔ середовище» виявляється у змінах процесів концентрації-деконцентрації в них “населення та капіталу” [12]. В еко-фізичній площині, означені зміни системних параметрів ЕМС надають урбанізованим територіям певних ознак “магнетизму”. Відтак, досліджуючи властивості і математично описуючи розвиток ЕМС «населення ↔ середовище», нами було встановлено певний збіг в періодичності змін її ключових параметрів (чисельність населення ( $H$ ), демографічна ємність ( $C_d$ ), швидкість ( $H'$ ) та прискорення змін ( $H''$ ) чисельності населення) та інших фізичних величин, які мають коливальний характер [6].

Здавалось би, коливання маятника нічим не схожі на розряд конденсатора через котушку індуктивності, і, тим паче, на еко-динаміку розвитку урбанізованих територій. Утім урбо-екологічні, механічні та електромагнітні коливання коряться однаковим кількісним законам. Означене виявляється тоді, коли цікавитися не тим, що коливається: вантаж на пружині, струм в електричному колі або чисельність населення ЕМС, а тим як відбуваються коливання. Означена подібність відноситься не до природи величин, які періодично змінюються, а до природи процесів їхніх змін – фізики коливань (Таблиця 1) [13, с.28; 14].

**Таблиця 1 - Аналогії між механічними, електромагнітними та урбо-екологічними величинами**

Механічні	Електричні	Урбо-екологічні
маса ( $m$ )	індуктивність ( $L$ )	чисельність населення ( $H$ )
координата ( $x$ )	заряд ( $q$ )	ємність демографічна = максимальна чисельність стабільного населення ( $C_d = H_{max}$ )
швидкість ( $v_x = x'$ )	сила струму ( $i = q'$ )	динаміка чисельності ( $H'$ )
прискорення ( $a_x = x''$ )	електромагнітні коливання у контурі ( $q'' = -q/LC$ )	швидкість зростання-скорочення чисельності ( $H''$ )
сила пружності ( $F_x = -kx$ )	опір контуру ( $R$ )	опір середовища ( $1 - H/C_d$ )
жорсткість пружини ( $k$ )	величина зворотна ємності ( $1/C$ )	жорсткість середовища ( $1/C_d$ )
потенційна енергія ( $kx^2/2$ )	енергія електричного поля ( $q^2/2C$ )	потенційна енергія ( $C_d/2$ )
кінетична енергія ( $mv_x^2/2$ )	енергія магнітного поля ( $Li^2/2$ )	реалізована енергія ( $H_{\Delta}H^2/2$ )

*Авторська розробка із використанням даних Г.Я. М'якішева та Б.Б. Буховцева щодо механічних та електромагнітних коливань*

Щодо просторово-часових вимірів розвитку урбанізованих територій. Згідно із Р. ді Бартіні, “усі фізичні величини мають просторово-часову природу...” та виводяться з двох основних [9, с. 190], які видаються у вигляді

добутку цілісних ступенів довжини  $[L^R]$  та часу  $[T^S]$ . При різних значеннях  $R$  і  $S$  це дає безрозмірні константи  $[L^0T^0]$ , просторові  $[L^RT^0]$  та часові (частотно-часові) виміри  $[L^0T^S]$  [9, с. 193].

Можливість викласти всі фізичні величини у просторово-часових одиницях виміру з'явилася завдяки трактату “Про електрику і магнетизм” Дж. Максвелла, яким встановлено (разом із позначенням у квадратних дужках) зв'язок розмірності “маси” із простором й часом. За Дж. Максвеллом, розмірність маси має вимір  $[L^3T^{-2}]$ , як-то об'єм  $[L^3T^0]$  із кутовим прискоренням  $[L^0T^{-2}]$  (Таблиця 2) [15, с. 39–42].

**Таблиця 2 - Періодична система просторово-часових фізичних величин Р. Бартіні – П. Кузнєцова (фрагмент)**

$T^{-5}$		зміна тиску	поверхнева потужність	швидкість змін сили	потужність
$T^{-4}$	зміна щільності струму	тиск	кутове прискорення маси	сила	енергія, момент сили
$T^{-3}$	щільність струму	напруженість електромагн. поля	струм, масова витрата	швидкість поширення заряду	дія, момент кількості руху
$T^{-2}$	прискорення	різниця потенціалів	маса	магнітний момент	момент інерції
$T^{-1}$	швидкість	зміна поверхні	зміни об'єму	швидкість зміщення об'єму	
$T^0$	довжина. самоіндукція	поверхня	об'єм		
$L^0$	$L^1$	$L^2$	$L^3$	$L^4$	$L^5$

Джерело: [9, с. 191]

Відомо, що вихідними характеристиками функціонування містобудівних об'єктів є довжина  $[L^1T^0]$ , площа  $[L^2T^0]$ , об'єм  $[L^3T^0]$ , час  $[L^0T^1]$  та швидкість руху  $[L^1T^{-1}]$ . Й тут виникає слушне питання: яким чином просторово-часові виміри пов'язані із населенням, ключовим параметром еколого-містобудівної системи? Відповідь надали урбо-еко-фізичні паралелі (Таблиця 1), які виявили функціональну подібність потенціалу “маси” в механічних коливаннях із “населенням” у розвитку еколого-містобудівної системи “населення ↔ середовище” (Рисунок 1) [6, 14, 15].

Викладене перед цим дозволило «перекласти» урбо-екологічні величини на «мову» універсальних просторово-часових  $[LT]$  одиниць виміру. На засадах аналогій із фізикою коливань (Таблиця 1) та періодичною системою просторово-часових фізичних величин (Таблиця 2) нами було сформовано періодичну систему просторово-часових вимірів еколого-містобудівної системи “населення ↔ середовище” (Таблиця 3).

**Таблиця 3 - Періодична система просторово-часових вимірів еколого-містобудівної системи “населення ↔ середовище” (фрагмент)**

T <sup>-5</sup>			прискорення змін чисельності		демографічна ємність – потужність
T <sup>-4</sup>			швидкість змін чисельності	“ущільненість” населення	
T <sup>-3</sup>	зміни щільності населення	опір середовища	динаміка чисельності населення		
T <sup>-2</sup>	<b>щільність населення – прискорення</b>	швидкість змін площі	<b>чисельність населення – маса</b>		
T <sup>-1</sup>	швидкість пересування	зміна площі	забудова міста		
T <sup>0</sup>	радіус контактів	площа міста, регіону	просторовий об'єм		
L <sup>0</sup>	L <sup>1</sup>	L <sup>2</sup>	L <sup>3</sup>	L <sup>4</sup>	L <sup>5</sup>

Авторська розробка

Джерело: [6].

**Результати та висновки.** Сутнісний збіг періодичності змін ключових параметрів еколого-містобудівної системи “населення ↔ середовище” (площі території, демографічної ємності та чисельності населення) із іншими фізичними величинами, які мають хвильову природу (механічні та електромагнітні коливання), й ідентичність їх математичного опису виявили важливі для прогнозування і цілеспрямованого управління сталим розвитком ЕМС аналогії:

– чисельність населення відіграє у розвитку ЕМС ту ж саму роль, що й маса тіла у механічних коливаннях;

– територія регіону є своєрідним природним конденсатором потоку енергії Сонця, що має максимальний заряд, вимірюваний демографічною ємністю;

– розвиток ЕМС зумовлює перетворення потенційної (електричної) енергії території регіону (його демографічної ємності) в реалізовану (магнітну) енергію мережі його населених міст (вимірюється чисельністю населення та динамікою змін), що призводить до збільшення щільності населення та просторових меж містобудівного об'єкта, а також слугує започаткуванню у циклах розвитку системи “населення ↔ середовище” нових «урбанізаційних хвиль» [6, 16].

Еко-фізичні аналогії в процесах розвитку ЕМС “населення ↔ середовище”, що виявлено, та періодична система просторово-часових вимірів фізичних величин, дозволили викласти її основні характеристики мовою універсальних просторово-часових величин. Вкрай важливими, серед інших, є два несподівані результати, які розкривають еко-фізичну сутність розвитку урбанізованих територій як еколого-містобудівних систем, а саме: щільність населення має просторово-часовий вимір прискорення  $[L^1 T^{-2}]$ ; демографічна ємність – вимір потужності  $[L^5 T^{-5}]$ . Звідси, запас демографічної ємності набуває сутнісних

ознак «вільного потоку енергії», який зумовлює коливання (як й у сонячній системі) та сталий розвиток ЕМС “населення ↔ середовище” [16, 17].

Означене розкриває теоретичні основи науково обґрунтованого управління сталим розвитком урбанізованих територій, завдяки можливості містобудівної діяльності (у взаємодії із фундаментальними еко-фізичними законами розвитку відкритих систем) прискорювати та уповільнювати розвиток еколого-містобудівної системи “населення ↔ середовище” різного рівня її просторової цілісності за рахунок зміни щільності населення та просторових меж містобудівного об’єкта.

### Література:

1. Rees, W.E. & Wackernagel, M. (1994). Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: Measuring the Natural Capital Requirements of the Human Economy. *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability*, 362–391, Washington: Island Press.
2. Le Roy, E. (1927). *L'exigence idéaliste et le fait de l'évolution*. Paris: Boivin.
3. De Chardin, T. (1959). *The Future of Man Fountain*. London: Crown Publishing Group.
4. Вернадский, В. И. (2004). *Биосфера и ноосфера*. Москва: Айриспрес.
5. Спиридонов, О.П. (1991). *Фундаментальные физические постоянные: учебное пособие для студентов ВУЗов*. Москва: Высшая школа.
6. Устінова, І.І. (2016). *Методологічні основи сталого розвитку еколого-містобудівних систем*. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора архітектури. Київ: КНУБА.
7. Пригожин, И. & Стенгерс, И. (1986). *Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой*. (Ю.О. Данилов, пер. с англ.). Москва: Прогрес.
8. Максимов, Е.В. (2005). *Ритмы на Земле и в Космосе*. Тюмень: Мандр.
9. Кузнецов, О.Л., Кузнецов, П.Г. & Большаков, Б.Е. (2001). *Устойчивое развитие: Научные основы проектирования в системе природа-общество-человек: учебник XXI века*. Дубна: Гуманистика.
10. Дольник, В.Р. (1992). Существуют ли биологические механизмы регуляции численности людей? *Природа*, (6), 3-16.
11. Бергаланфи, Л. фон. (1973). История и статус общей теории систем. *Системные исследования*, 20-37. Москва: Наука.
12. Forrester, Jay W. (1969). *Urban Dynamics*. London: The M.I.T. Press, Cambridge, Mass.
13. Мякишев, Г.Я. & Буховцев, Б.Б. (1993). *Физика: учебник для 11 кл. шк. (2-е изд.)*. Москва: Просвещение.
14. Ustinova, I. (2012). Electromagnetism in the eco-dynamics of urban areas. *Archiv Euro Eco*, 2(1), 60-63.
15. Maxwell, J. C. (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. (Vol. 1). London, Oxford: Clarendon. Вилучено з: <https://www.aproged.pt/biblioteca/MaxwellI.pdf>
16. Ustinova, I. (2016). Theoretical principles of wave urbanistics. *ТЕКА*, 16(4), 73-82. [https://journals.pan.pl/Content/108403/PDF/10\\_Ustinova.pdf](https://journals.pan.pl/Content/108403/PDF/10_Ustinova.pdf)

17. Ustinova, I. (2018). Urban-planning aspects of stability theory ecologic-urban planning systems. *Transfer of Innovative Technologies*, (1), 5-16. <https://doi.org/10.31493/tit1811.0101>

Статтю відправлено: 17.05.2023

© Устінова І.І.