

**УДК 512.587+ 338.001.36330.5:[303.04]**

**ТОПОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТРУКТУРИ СОЦІАЛЬНО-  
ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ ЯК ПЕРЕДУМОВА СИНТЕЗУ**

**Т.М. Книшенко, к.е.н.,**

**доцент кафедри економічної кібернетики та статистики**

**Класичний приватний університет (м. Запоріжжя)**

Ринкові трансформації обумовлюють дослідження, в яких ставляться питання управління складними структурами. В сучасних умовах управління соціально-економічними системами є безструктурним, що орієнтовано на реакцію системи під управлінським впливом. При безструктурному управлінні виокремлюється об'єкт управління як цілісна система та фактори дії зовнішнього середовища. Набуває поширеності також і структурне управління, що орієнтовано на концепцію С. Біра, системний підхід, синергетику. Водночас в цих теоріях хоча і враховуються зв'язки між елементами та їх зміни, але потребується математична теорія, що має пов'язати економічний зміст та математичні властивості соціально-економічної системи.

На сьогодні теорія графів є напрямом, що дозволяє здійснити моделювання структури соціально-економічної системи, а також пояснити основні методи моделювання структур: фрактальний, функціонально-вартісний аналіз тощо. За допомогою теорії графів можна описувати безліч подій та об'єктів, що функціонують в соціально-економічному просторі. Високий рівень абстракції та узагальнення дозволяє використовувати типові алгоритми та поняття теорії графів для вирішення зовнішньо несхожих задач.

Водночас ця теорія використовується більше для моделювання певних процесів (наприклад, пошук оптимальних маршрутів), але майже не застосовується до вивчення структури системи. В роботах А. Кочкарова застосовано графовий підхід до моделювання, але майже відсутні дані щодо апробації їх в економічних системах [1]. Актуальним також є застосування

теорії не тільки в контексті аналізу, а й пошук альтернативних структур соціально-економічної системи за рахунок утворення нових зв'язків та зменшення вагомості старих – тобто завдання синтезу. Складність синтезу нових економічних структур пояснюється високим впливом людського фактору й статичністю зв'язків соціально-економічної системи, неможливістю змінити її ієрархічний устрій.

Проблематикою роботи є те, що теорію графів не можна використовувати без врахування специфіки соціально-економічних елементів. Пошук нових структур в соціально-економічній системі має відбуватись при оцінюванні можливостей до зміни зв'язків та функцій елементів.

Отже, актуальним є застосування теорії графів при моделюванні соціально-економічної системи, а також розробка методів підтримки прийняття рішень щодо синтезу її структури.

А. Бакурова зазначає, що структуру формально зручно задавати у вигляді зваженого зв'язного графа  $G = (V, E)$ , множина вершин  $V = \{v_i\}$  якого відповідає множині елементів структури, а множина дуг  $E = \{e_i\}$  – множині зв'язків між елементами. За допомогою графів можна пояснити поняття структури і її зміни, упорядкувати, визначити й формалізувати її атрибути [2]. Автором здійснено моделювання навантаження на елементи соціально-економічної системи, але не апробовано на статистичних даних.

Н. Самченко економічна система розглядається як структурно-функціональна, з такими атрибутами як структура, функції та емерджентність. В роботах автора побудована та досліджена на засадах теорії «витрати-випуск» балансова модель структурно-функціонального типу та змодельовано визначальні структурно-функціональні зв'язки за допомогою регресійних рівнянь [3]. Хоча автором і побудовано структурно-функціональну модель, але не враховано можливість виникнення коопераційних зв'язків між елементами, що обумовлюють синергію, додатковий ефект щодо випуску та зниження витрат.

О. Полякова й О. Мілов для моделювання структури соціально-економічної системи використовують теорію графів. Під структурою системи науковці розуміють динамічний об'єкт, що має властивість адаптивності до різноманітності зовнішнього середовища. Джерелами складності, які виникають при використанні поняття стійкості є визначення єдиної функції, що характеризує всі вершини структури; визначення інтенсивності впливу одних структур на інші; врахування можливості зміни складу вершин графа структури [4]. Водночас авторами не зазначено яким чином змінюється структура соціально-економічної системи й які економічні наслідки можуть відбуватись через це.

Приймаючи до уваги наукові здобутки слід констатувати, що наведені праці відносяться більше до питань аналізу та побудови моделей структури в вигляді графів, але не достатньо визначають критерії структур та методику їх синтезу. За результатами вивчення наукових здобутків щодо застосування теорії графі визначено їх неповноту в частині відсутності економічного змісту при застосуванні метричних характеристик графу до властивостей соціально-економічної системи, а також економічної апробації властивостей графів до соціально-економічної системи.

Тому мета статті має математичну складову щодо визначення топологічних властивостей структури соціально-економічної системи як характеристики, що є більш узагальненою та відмінною від метричних характеристик, й дозволяє пояснити залежність динаміки системи від її станів та елементів. Крім того, автором виділено економічну складову мети як можливості апробації математичної теорії до побудови та зміни структури соціально-економічної системи, зокрема, на прикладі розподілу та формування валового внутрішнього продукту та можливості утворення зв'язків між галузями виходячи з їх функціональної наповненості.

Структура може включати в себе як загальносистемні властивості (наявність елементів, існування зв'язків між ними і т. п.), так і спеціальні, притаманні тільки даній конкретній системі і пов'язані з особливостями її

функціонування (специфіка відносин між елементами, закономірності розподілу інформації, матеріальних та інших потоків і т. п.). Водночас структура хоча і є більш інерційною системною характеристикою соціально-економічної системи порівняно з такими її властивостями як адаптивність, стан та множина цілей, але структура також має здатність до змін, отже для однієї і тієї ж системи можна побудувати альтернативні структури, між системою та її структурою відсутня однозначна відповідність.

Можна сказати, що формування структури є частиною вирішення загальної задачі побудови системи, причому такою, яка не визначає наперед систему в цілому, а лише виявляє її конфігурацію. Побудова структури – самостійне завдання, випереджає синтез системи в цілому і полегшує його проведення.

Представлення моделі структури у вигляді графу має перевагу, оскільки вимагає для побудови мінімум інформації. Зауважимо, що аналіз структурних властивостей системи на графі набуває топологічного характеру, коли метричні характеристики є несуттєвими, а важливими є поняття зв'язності, компактності та неперервності. Водночас метричні характеристики графу досить часто називають його топологічними характеристиками. Тому в подальшому будемо використовувати термін «метричні характеристики» як ті характеристики, що можна обчислити, а топологічні характеристики – ті, що ілюструють властивість різноманітності множини графів як альтернативних структур соціально-економічних систем, що мають множинність елементів та їх зв'язків.

Соціально-економічні системи незалежно від виду графу, що їх представляє, є зв'язними графами. Сильнозв'язним називається граф, будь-які дві вершини якого взаємно досяжні. Слабозв'язним називається граф, якщо при заміні його дуг на неорієнтовані, граф становиться сильнозв'язним [5].

Визначення компактності має певну дискусійність, оскільки хоча соціально-економічна система є компактною структурою, має кінцеву кількість зв'язків, елементів та альтернативних структур, але чи означає

компактність структури компактність множини станів? Чи відповідає альтернативній структурі некінцева множина станів соціально-економічної системи?

Стосовно неперервності, то врахування цієї властивості характеризує структуру соціально-економічної системи як таку, в якій відсутні точки розриву, отже неможливість незалежних елементів. Ця властивість підтверджується на будь-якому рівні соціально-економічної системи й обумовлена складністю зв'язків [6]. Дискусійним науковим питанням залишається проблема зміни структури соціально-економічної системи та її вплив на форму розвитку, а також навпаки. Неперервність часу передбачає відсутність різких – революційних – змін, водночас формування альтернативної структури через зміну зв'язків може стрибкоподібно змінити динаміку соціально-економічної системи.

Розглянемо метричні характеристики графу:

– ієрархічність – властивість структури, що виявляється у зв'язках між елементами. Ця характеристика дає змогу розподілити елементи структури в порядку їхньої значущості. Значущість елемента визначається зв'язками й розташуванням відповідної йому вершини в графі відносно інших вершин, наприклад відношенням ступеня виходів до ступеня входів або загальною кількістю зв'язків. Економічний зміст характеристики проявляється в зв'язках та підпорядкованості елементів соціально-економічної системи;

– діаметр графа – метрична характеристика, уведена для визначення найкоротшої відстані між найбільш віддаленими вершинами. За значенням діаметра можна судити про ряд граничних параметрів системи, зокрема про її пропускну здатність. Економічний зміст проявляється при оптимізації інформаційних, матеріальних, фінансових потоків;

– пропускну здатність структури визначається максимальним потоком повідомлень, який можна організувати між її елементами. При однаковій пропускну здатності елементів пропускну здатність усієї структури обернено пропорційна її діаметру. Тому при проектуванні структур з

високою пропускнуою здатністю потрібно прагнути до структури з мінімальним діаметром. Економічний зміст проявляється в швидкості розповсюдження збуджуючих коливань, реакції на управлінські рішення;

– цикломатичне число визначає кількість лінійно незалежних контурів у сильнозв'язному графі й обчислюється за формулою:

$$Z(G) = e - v + 2p, \quad (1)$$

де  $e$  – кількість дуг орієнтованого графа  $G$ ;

$v$  – кількість вершин;

$p$  – кількість компонентів зв'язності орграфа. Кількість компонентів зв'язності графа можна розглядати як кількість дуг, які необхідно додати для перетворення графа на сильнозв'язний. Економічний зміст проявляється в надійності елементів та їх залежності.

За наведеними топологічними властивостями та метричними характеристиками бачимо, що топологічний аналіз є більш абстрактним, але можна його властивості пов'язати з метрикою графу. Використовувати тільки метричні характеристики недоцільно, оскільки вони не несуть економічного змісту, а лише можуть визначати кількісні значення зміни метричної структури.

З урахуванням викладеного, основними етапами топологічного аналізу є:

1. Аналіз елементів.
2. Аналіз зв'язків.
3. Обчислення метричних характеристик.
4. Визначення економічного змісту отриманих значень та їх впливу на функції системи.
5. Оптимізація метричних характеристик та узгодження їх з топологічними властивостями.
6. Прийняття рішення щодо синтезу нової структури життєздатної соціально-економічної системи.

Розглянемо наведені викладки щодо створення додаткових зв'язків в

структурі економіки на прикладі формування та розподілу ВВП. Л. Сергєєва зазначає, що оптимальна структура постіндустріальної економіки забезпечується наступними пропорціями: сфера життєзабезпечення – 62%, сфера послуг – 24%, промисловість – 9%, сільське господарство – 5% [7].

Наведемо приклад формування валового внутрішнього продукту, що розраховується як різниця між випуском та проміжним споживанням.

В табл. 2 наведено вклад сфер та видів економічної діяльності в формуванні макроекономічних показників в 2010 р.

Таблиця 2

**Вклад сфер та видів економічної діяльності в формування макроекономічних показників в 2010 р., %**

Сфера діяльності	Випуск	Відпуск	ВВП	Назва виду економічної діяльності	Випуск	Відпуск	ВВП
Господарство	8,14	8,50	7,61	Сільське господарство, мисливство та лісове господарство	99,11	98,93	99,43
				Рибне господарство	0,89	1,07	0,57
Промисловість	53,86	66,09	35,28	Добувна промисловість	9,35	6,31	17,98
				Обробна промисловість	76,73	81,80	62,29
				Виробництво електроенергії, газу та води	7,21	6,03	10,56
				Будівництво	6,72	5,86	9,17
Сфера послуг	30,12	21,27	43,58	Оптова й роздрібна торгівля; торгівля транспортними засобами; послуги з ремонту	37,27	38,67	36,23
				Транспорт	25,32	27,00	24,07
				Фінансова діяльність	11,21	6,80	14,48
				Операції з нерухомістю, здавання під найм та послуги юридичним особам	26,21	27,53	25,22
Сфера життєзабезпечення	7,88	4,15	13,54	Державне управління	32,59	29,12	34,20
				Освіта	38,35	39,73	37,71
				Охорона здоров'я та соціальна допомога	29,07	26,52	28,09

Наведений розподіл сфер та видів економічної діяльності розподіл має властивість самоподібності. Так вся економіка містить чотири сфери діяльності, в свою чергу для кожної сфери діяльності виокремлюються чотири основні види діяльності. Потребує уваги сфера послуг, для якої основними видами економічної діяльності є торгівля, транспорт, фінансова діяльність, інші види послуг. Оскільки сфера життєзабезпечення ще

знаходиться на стадії формування, то ще не виділено окремий четвертий вид, пов'язаний з екологічним формуванням ресурсів, природоохоронною діяльністю.

За даними табл. 2 економіка України залишається індустріальною, крім того існує невідповідність структури випуску галузей структурі їх проміжного споживання.

Зауважимо, що економіка за своєю структурою належить до складних ієрархічних систем, що обумовлює необхідність її упорядкованого опису. Представлення структури економіки в вигляді графу потребує виділення елементів (вершин) за рівнями, а також зв'язків між ними – ребра графу. Ребра графу зображують шлях розподілу витрат та формування доходів, дві вершини ребра розглядаються як пара: джерело – пункт розподілу.

Гармонізація структури та її динамічність, що виявляється в переході до постіндустріальної економіки обумовлює виникнення тимчасових субсистемних утворень [8], джерелом яких є інституційні зміни в економіці, зовнішній вплив чи односпрямовані флуктуації розвитку фрактальної структури економічної системи. Взаємодії у тимчасових субсистемних утвореннях мають досить часто випадковий характер, рівень невизначеності економічних процесів у них є високим. Тому необхідно обчислити метричні характеристики для різних структур економіки для виявлення такого субсистемного утворення, що мало б забезпечувати гармонійність формування та розподілу ВВП або переструктуризації економіки та усунення непотрібних зв'язків

Так, якщо представляти структуру економіки щодо формування та розподілу ВВП зваженим графом, дуги якого відповідають різниці за модулем структур між випуском та проміжним споживанням, а напрям – відповідності випуску та проміжному споживанню, то отримаємо фрагмент графу, що зображений на рис. 1.

За рис. 1 бачимо, що за обробною промисловістю, виробництвом електроенергії та будівництвом існує структурна диспропорція – частка



випуску менша, ніж частка проміжного споживання. В сфері послуг та, зокрема добувній промисловості частка випуску більша, ніж частка проміжного споживання.

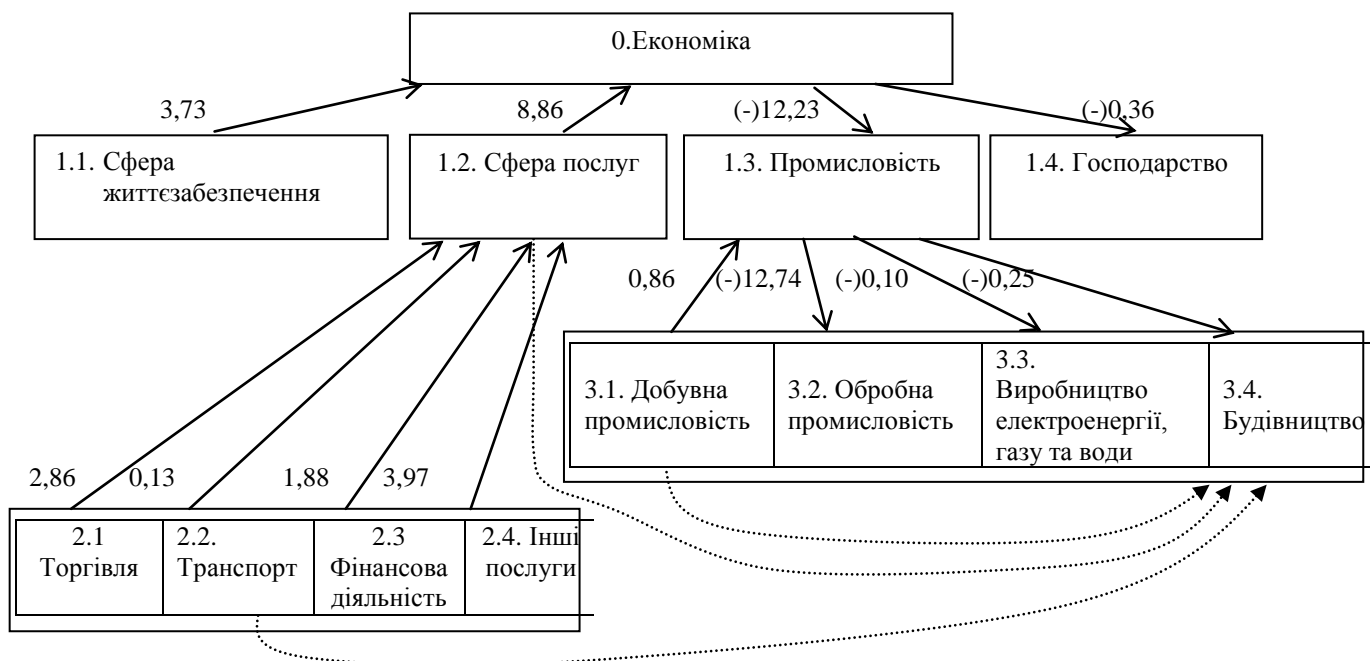


Рис. 1. Фрагмент зваженого графу формування ВВП (статистична інформація [9] та власні розрахунки)

Для гармонізації структури можлива кооперація галузей за рахунок утворення додаткових зв'язків. Наприклад, внутрішньогалузевий комплекс: добувна промисловість – будівництво, або міжгалузевий комплекс фінансова діяльність – будівництво [10]. Можлива також кооперація сфера послуг – будівництво.

За метричними характеристиками оптимальним є зв'язок, що формує внутрішньогалузевий комплекс: добувна промисловість – будівництво; при цьому випуск та проміжне споживання перерозподіляється й структура існує з вагою

$$0,86 - 0,25 = 0,61.$$

Причому доцільним є прямий зв'язок, що зменшує діаметр графу та підвищує його пропускну здатність. Водночас можливі випадки, коли формування міжгалузевих зв'язків недостатньо для покриття структурної

диспропорції. Наприклад, навіть зв'язку зі сферою послуг недостатньо для обробної промисловості, потребується формування зв'язку зі сферою життєзабезпечення.

Водночас підвищення рівня додаткових зв'язків може збільшити завантаженість елементів, зменшити їх маневреність в виборі галузей для кооперації. Особливо це стосується галузей з малим рівнем різниці структури додаткового випуску, наприклад, транспорту. В випадку кризи соціально-економічній системі будуть необхідні додаткові зусилля до зміни зв'язків та переструктуризації.

За практичним прикладом щодо формування ВВП бачимо, що побудова альтернативної структури передбачає не тільки побудову альтернативного графу з новими зв'язками, але й врахування обмежень, що пов'язані зі специфікою елементів соціально-економічної системи.

Так, в залежності від обраної структури, зв'язність графу може змінюватись, тобто варіюватись ступінь свободи елементів в кооперуванні. На рис. 1 було розглянуто приклад аналізу трьохрівневого графу, але можливе виділення більшої кількості рівнів.

Представлення структури в виді фракталу задає умови для формування компактної множини структур  $S$  як сукупності компактних підструктур. Якщо позначити стан системи в момент часу  $t$  як  $x_t$ , то в момент часу  $t+1$  отримаємо стан  $x_{t+1}$ . Процес  $(x_t, x_{t+1})$  відповідає множині структур  $S$ . Кінцева послідовність  $\{x_t\}_{t=0}^T$  є допустимою траєкторією системи (що залежить від структур  $S$ ). Таким чином, можливі траєкторії (або їх множина) є компактною множиною, стани системи також є компактною множиною.

Отже, траєкторії системи, та її стани відповідають перш за все компактній множині структур. Завдання певної структури визначає можливі траєкторії.

Стосовно наведеного прикладу щодо аналізу формування та розподілу валового внутрішнього продукту – множина альтернативних структур з формування тимчасових зв'язків є кінцевою, й обумовлює різні сценарії

формування ВВП, й зокрема, тип його динаміки.

Побудова альтернативних структур повинна відбуватись з урахуванням умови неперервності, а саме перехід між альтернативними структурами є оптимальним при мінімальній зміні зв'язків. Таким чином, якщо потребується удосконалення структури ВВП, то це означає, що зміни необхідно проводити поступово, повільно збільшуючи діаметр графу.

В роботі набуло подальшого розвитку визначення топологічних та метричних характеристик соціально-економічної системи на основі застосування теорії графів, що на відміну від існуючих підходів дозволяє пояснити кінцевість структур та станів соціально-економічної системи та дозволяє сформулювати передумови для її синтезу з метою пошуку альтернативних структур та оптимізації.

На прикладі формування та розподілу ВВП було проаналізовано існуючу структуру та можливість формування зв'язків між галузями. На основі обчислення метричних характеристик зроблено висновок про доцільність першочергового формування внутрішньо коопераційних зв'язків, а при наявності потенціалу – формування між коопераційних зв'язків.

Автором зроблено висновок, що зміна структури економіки повинна відбуватись поступово, з забезпеченням умови неперервності.

### **Перелік літературних джерел:**

1. Кочкаров А.А. Обеспечение стойкости сложных систем. Структурные аспекты / А. Кочкаров, Г. Малинецкий [Текст] // Препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша. М.: РАН №53, – 2005. – 34 с.
2. Бакурова А.В. Самоорганізація соціально-економічних систем: моделі і методи [Текст] : [монографія] / А.В. Бакурова. – Запоріжжя : КПУ, 2010. – 328 с.
3. Самченко Н. Моделювання структурно-функціональних зв'язків в економіці [Текст] : автореферат дис. ... канд. екон. наук : 08.00.11 / Н. К.

- Самченко ; Держ. вищ. навч. закл. «Київ. нац. екон. ун-т ім. В. Гетьмана». – К., 2011. – 20 с.
4. Полякова О. Ю. Моделирование системных характеристик экономики [Текст] : [Учеб. пособие] / О.Ю.Полякова, А.В.Милов ; Харьк. нац. екон. ун-т. – [2-е изд., стер.]. – Х. : ИНЖЭК, 2006. - 292 с.
  5. Матеріали Вікіпедії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Связный\\_граф](http://ru.wikipedia.org/wiki/Связный_граф).
  6. Сергеева Л.Н. Моделирование структуры экономических систем и процессов [Текст] : [монографія] / Л.Н. Сергеева. – Запорожье: ЗГУ, 2002. – 88 с.
  7. Сергеева Л.Н. Моделирование структуры экономических систем и процессов / Л.Н. Сергеева. – Запорожье: ЗГУ, 2002. – 88 с.
  8. Шалфеева Е.А. Каталог свойств онтологий. Свойства структуры стандартных связей [Текст] : [Препринт] / Е.А. Шалфеева. – Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, – 2007. – 32 с.
  9. Статистична інформація: Доходи та витрати населення України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2005/gdn/dvn\\_ric/dvn%20\\_u/dvn\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2005/gdn/dvn_ric/dvn%20_u/dvn_u.htm).
  10. Цепенюк Н.М. Формування будівельних кластерів в межах регіону / Н.М. Цепенюк [Текст] // Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси, 2010. – Вип. 24. – Ч. I. – С. 219-222. – (Серія «Економічні науки»).