

УДК 330.46

DOI: <https://doi.org/10.32782/2520-2200/2018-6-35>**Ревенко Д.С.**

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри економіки та маркетингу
Національного аерокосмічного університету
імені М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Revenko Daniil

National Aerospace University N.E. Zhukovsky
"Kharkiv Aviation Institute"

СТРУКТУРНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

STRUCTURAL APPROACH TO MODELING SUSTAINABILITY OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

У статті розглянуто основні підходи до моделювання стійкості структури соціально-економічних систем. Визначено, що найбільш популярним і найбільш формалізованим підходом є графоаналітичний підхід, методичним підґрунтям якого є теорія графів. Цей підхід на відміну від детермінованого і стохастичного дає змогу проаналізувати зміни у самій системі, а не тільки збурюючі впливи зовнішнього середовища та загальний розвиток системи. Сутність запропонованого методу моделювання стійкості соціально-економічних систем ґрунтується на моделі «витрати – випуск» В. Леонтьєва, сутність якого полягає в аналізі витрат структури відтворення у розрізі окремих галузей. Запропонований підхід дає змогу віднайти явні та приховані зв'язки між елементами системи і процесами, що відбуваються у ній, і, як результат, діагностувати ключові проблеми в розвитку системи. Використання структурного підходу дає змогу формалізувати та структурувати знання про явища і процеси, що відбуваються в системі, і прогнозувати їх у майбутньому.

Ключові слова: стійкість, зовнішнє середовище, система, структурний підхід, моделювання, структура, графи.

В статье рассмотрены основные подходы к моделированию устойчивости структуры социально-экономических систем. Определено, что наиболее популярным и наиболее формализованным подходом является графоаналитический подход, методической основой которого явля-

ется теорія графів. Этот поход в отличие от детерминированного и стохастического позволяет проанализировать изменения в самой системе, а не только возмущающие воздействия внешней среды и общее развитие системы. Сущность предлагаемого метода моделирования устойчивости социально-экономических систем основывается на модели «затраты – выпуск» В. Леонтьева, который заключается в анализе затрат структуры воспроизводства в разрезе отдельных отраслей. Предложенный подход позволяет отыскивать явные и скрытые связи между элементами системы и процессами, происходящими в ней, и как результат, диагностировать ключевые проблемы в развитии системы. Использование структурного подхода позволяет формализовать и структурировать знания о явлениях и процессах, происходящих в системе, и прогнозировать их в будущем.

Ключевые слова: устойчивость, внешняя среда, система, структурный подход, моделирование, структура, графы.

The article deals with the main approaches to modeling the sustainability of the structure of socio-economic systems. Determined that the most popular and most formalized approach is the graph-analytical approach, the methodological of which based on the theory of graphs. From the point of a deterministic and stochastic approach, the sustainability of the socioeconomic system depends on its dynamic properties that can be changed, at the same time the structural approach to modeling the sustainability of the socio-economic system gives an answer to questions that relate to the change in the structure of the socio-economic system and the impact of these structural changes on its sustainability. This approach, unlike deterministic and stochastic, allows you to analyze the changes in the system, but not only perturbing influences of the external environment and overall system development. The main task of the study of the sustainability of the structure of the socio-economic system is the study of qualitative changes in the development of the system, that is, the trajectory of its movement by changing the structure of the system. Noted that from the position of the deterministic approach to modeling the sustainability of the socio-economic system, one of the main stages of using this approach is to obtain a mathematical expression of the structure of the system. The essence of the proposed method to modeling the sustainability of socio-economic systems is based on the "input-output" model (V. Leontief), that consists of analyzing the cost of structure of reproduction in the context of individual industries, in accordance with the main objective of the socio-economic system – to remain viable, keeping sustainability development, that is to produce, redistribute and reproduce the resources and benefits in order to meet their own needs and sustained economic growth. The proposed approach allows to reveal explicit and hidden connections between elements of the system and the processes occurring in it, and as a result, to diagnose the key problems in the development of the system. Using the structural approach allows formalizing and structuring knowledge about the phenomena and processes occurring in the system, and predicting them in the future.

Keywords: sustainability, environment, system, structured approach, modeling, structure, graphs.

Постановка проблеми. У процесі проведення комплексних досліджень стійкості функціонування соціально-економічних систем головну увагу науковці приділяють питанням стійкості її структури, оскільки від стану структури системи залежать її життєздатність і подальший розвиток. Стійкість соціально-економічної системи є головною властивістю її сталого й ефективного динамічного розвитку, сам розвиток передбачає постійну трансформацію системи та її видозміну, тоді як стійкість структури системи передбачає незмінність її структурних елементів і збереження зв'язків між ними. Дуалізм розвитку за збереження структури соціально-економічної системи формує основну ідею інваріантності. Інваріантність властивості структури системи залежить від розгляданого періоду і динамізму змін у зовнішньому середовищі. У короткостроковому періоді збереження структури системи є однією з основних умов її стійкого розвитку, тоді як у довгостроковому періоді структура соціально-економічної системи має відповідати

вимогам зовнішнього середовища. Якщо структура соціально-економічної системи є неефективною і не здатна забезпечувати стійкість соціально-економічних систем до змін зовнішнього середовища, цей стан призводить до загибелі системи у цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У сучасній науковій літературі основні підходи до моделювання стійкості структури соціально-економічних систем можна поділити на такі п'ять підходів: неосистемний, графоаналітичний, соціально-ієрархічний, когнітивний, тернарний та підхід на основі методу золотого перетину.

Основними представниками зазначених підходів є зарубіжні та вітчизняні науковці, а саме: Г.Б. Клейнер, Я. Корнаї, Л.Н. Сергеева, А.В. Бакурова, В.В. Кульба, П.Б. Миронова, В.М. Назаретова, Д.О. Новиков, А.В. Цветков, О.О. Воронін, С.П. Мішин і В.А. Овчинников, О. Горчакова, Г.В. Горелова, О.М. Захарова, Л.О. Гініс, О.К. Єлисеєва, І.В. Прангішвілі, А.С. Харитонова, О.І. Іванус, Н.П. Любушина, Н.Е. Бабічева, Р.Я. Івасюк.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Вплив кризових явищ на функціонування економік країн та питання забезпечення їхньої стійкості функціонування й основних суб'єктів мікрорівня – підприємств постають достатньо гостро в дослідженнях вітчизняних та зарубіжних авторів і достатньо представлені в науковій літературі, проте мають дуже неоднозначну формалізацію. З розширенням наукових досліджень, присвячених стійкості соціально-економічних систем як складних і динамічних, найбільшого розповсюдження сьогодні одержали питання трактування і дослідження умов стійкості соціально-економічних систем із позиції теорії систем, проте питанням моделювання їхньої структури і розроблення нових методів забезпечення стійкості цих структур і разом із тим їхньої життєздатності приділяється недостатньо уваги.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою дослідження є формування структурного підходу до моделювання стійкості соціально-економічних систем.

Виклад основного матеріалу дослідження. З позиції детермінованого і стохастичного підходів стійкість соціально-економічної системи залежить від її динамічних властивостей і, відповідно, може змінюватися. Структурний підхід до моделювання стійкості соціально-економічної системи дає відповіді на питання щодо зміни структури соціально-економічної системи і впливу цих змін на її стійкість. Цей підхід на відміну від детермінованого і стохастичного дає змогу проаналізувати зміни у самій системі, а не тільки збурюючі впливи зовнішнього середовища і загальний розвиток системи. Тому актуальним завданням стає дослідження стійкості системи, а також аналіз структурних змін самої системи. На практиці зміни структури системи, навіть незначні, можуть призвести до якісних і кількісних змін у поведінці, а відповідно, і в стійкості системи.

Під структурою слід розуміти стійку будову системи, яка є сталою за різних зовнішніх дій на систему. Структура системи – це консервативна характеристика стану системи, яка складається зі специфічного порядку множини елементів або частин системи, що взаємодіють між собою для реалізації специфічних функцій системи. Тобто структура є засобом реалізації мети розвитку системи. Також слід розглядати поняття «структурність» – це характеристика гетерогенних об'єктів, які прагнуть мати незмінну чи змінну структуру, тобто бути внутрішньо організованими. Під організацією слід розуміти динамічну характеристику структури системи, що формує її цільове функціонування. Серед усіх визначень одним із ключових є

структурний елемент – це окремий одиничний складник структури, який виконує одну з функцій системи.

У цілому спрощену структуру соціально-економічної системи S можна записати як такий кортеж [1; 2]:

$$S = \langle V, E, R \rangle, \quad (1)$$

де $V = \{v_i\}$ – множина елементів системи;

E – множина ваг елементів чи зв'язків;

$R = \{r_k\}$ – множина функцій за структурними елементами системи.

Ваги вершин можуть бути виражені числом або функцією, що характеризує зв'язок між елементами соціально-економічної системи.

На практиці під час моделювання структури соціально-економічної системи частіше використовується математичний апарат теорії графів, який дає змогу не тільки сформулювати структуру системи, перебудувати її або оптимізувати, а й дослідити систему і дати оцінку її характеристикам, зокрема стійкості як однієї з найважливіших із них. Графом називається множина вершин і ребер [3]. З позиції теорії графів найпростіша структура соціально-економічної системи – це множина елементів системи (V) із заданими на них відносинами між цими елементами (неорієнтований граф). Наочним методом представлення структури соціально-економічної системи з позиції теорії графів є відображення її у вигляді діаграми із зазначенням вершин (елементів системи), а також поєднанням їх між собою лініями – ребрами, які формують вершини у реберні пари. Представлення структури соціально-економічної системи у вигляді графу дає змогу візуалізувати математичні залежності у структурах системи.

Непусту множину V , яка відображає структуру соціально-економічної системи, можна представити у вигляді набору елементів системи $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$. А зв'язки між елементами системи можна представити у вигляді множини усіх його двоелементних підмножин $V^{(2)}$:

$$V^{(2)} = \left\{ \{v_1, v_2\}, \{v_1, v_3\}, \dots, \{v_1, v_n\}, \right. \\ \left. \{v_2, v_3\}, \dots, \{v_2, v_n\}, \right. \\ \left. \{v_{n-1}, v_n\} \right\}. \quad (2)$$

Якщо в структурі системи між її елементами v_a і v_b не існує зв'язку, тоді у виразі (2) вони замінюються на значення 0.

Множиною ребер графу (E) будемо вважати множину зв'язків між елементами, тобто множину невпорядкованих пар різних елементів системи.

Компактною формою аналітичного виразу структури соціально-економічної системи, відповідно до теорії графів, є матриця суміжності,

вона є симетричною квадратною матрицею $A = [a_{ij}]$ порядку n , у якій елемент a_{ij} дорівнює 1, якщо у графі є ребро $\{v_i, v_j\}$, тобто v_i і v_j є суміжними, в інших випадках, коли таких ребер немає, у матриці суміжності значення елементу дорівнює 0. Матриця суміжності має вигляд:

$$A = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 & \dots & v_n \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \vdots \\ v_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 0 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 0 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Основними статистичними характеристиками графу, що сформований на основі структури системи, є число вершин (елементів системи) $n = |V|$, що визначає порядок графу, та число ребер $m = |E|$. Граф із кількістю n вершин та m ребер називається (n, m) -графом.

Дослідження стійкості структури соціально-економічної системи вимагає визначити центр графу, утворений структурою цієї системи. Поняття центру графу тісно пов'язане з поняттям ексцентриситету вершин (відстань між двома вершинами графу $e(v) = \max d(v_a, v_b)$), максимальний ексцентриситет є діаметром графу ($d(G) = \max e(v)$), а мінімальний – радіусом графу ($r(G) = \min e(v)$). Для будь-якого графу справедливо відношення $r(G) \leq d(G)$. Визначення радіусу графу формує відповідь на питання про центральну вершину: якщо виконується умова $e(v) = r(G)$, тоді вершина є центральною. Ця вершина або група вершин формує глобальну стійкість системи. Руйнування зв'язків між елементами центру (вершинами графу) може призвести до руйнування системи, тому управлінські впливи для підтримки стійкості системи повинні бути спрямовані на забезпечення структурної цілісності центру системи.

Ідентифікація структури соціально-економічної системи у теоретико-графовій формі із зазначенням причинно-наслідкових зв'язків між елементами системи розширює інформацію про структуру системи, для чого використовуються орієнтовані графи (орграфі). Кожному простому графу G можна поставити у відповідність орієнтований граф, якщо кожному з ребер додати одну з двох можливих орієнтацій. Орграфом будемо називати пару $\langle V, A \rangle$, якщо V – непуста множина елементів системи, які є, відповідно, вершинами, A – множина впорядкованих пар різних елементів системи V , які називаються дугами. Формування знань про напрям або спрямованість зв'язків у досліджуваному графі структури системи має вагомий значення для задач аналізу і синтезу

стійкості соціально-економічної системи. У графах мають місце паралельні дуги, що мають спільні початкові і кінцеві вершини. З'єднання дуг, за якого кінець кожної дуги є початком для нової дуги, є орієтованим маршрутом (гілкою чи каркасом) системи. У разі коли кінець останньої дуги збігається з початковою вершиною першої дуги, орієтований маршрут називається замкнутим, або контуром структури системи. Якщо граф показує перерозподіл ресурсів у системі, то він називається орієтованим циклом. За інших випадків орієтований граф, утворений різними дугами (при не замкнутому стані), говорить про те, що соціально-економічна система є відкритою.

Представлення структури соціально-економічної системи на основі орієтованого графу дає змогу звернутися до дослідження зв'язків між елементами системи. Формування сильних зв'язків між підсистемами, складниками системи та її елементами формує стійкість самої системи, тому задача діагностики зв'язків структури системи є важливою. Серед основних видів зв'язаних графів слід виділяти такі:

– граф називається сильно зв'язаним, якщо будь-які дві вершини, що утворені елементами структури системи, у ньому взаємно досяжні (вершина v_a досяжна з вершини v_b , якщо існує шлях (v_a, \dots, v_b)), якщо остання вершина досяжна до першої, вони взаємно досяжні;

– за умови, що в будь-якій парі вершин орграфу хоча б одна досяжна, орграф називають одностороннім.

Із визначень стає зрозумілим, що за умови сильнозв'язаного графу система забезпечує максимальну розгалуженість структури, що відображається на її стійкості; за збурень у зовнішньому чи внутрішньому середовищі, які можуть призвести до руйнування деяких зв'язків або елементів системи, вона зможе компенсувати ці втрати шляхом перерозподілу ресурсів через інші елементи та зв'язки системи.

Аналіз структури системи передбачає дослідження статистичних і динамічних характеристик системи, розкладення її на окремі підсистеми та елементи й дослідження системних зв'язків між ними. Аналіз структури системи дає передумови для формування висновків про структурну стійкість системи, крім того, дає змогу провести топологічну декомпозицію структури системи, визначити слабкі і сильні зв'язки між елементами та підсистемами, виділити вхідні й вихідні вузли для ресурсів та інформації соціально-економічної системи, визначити характеристики найважливіших елементів системи, дослідити максимальні та мінімальні шляхи у графі системи.

Однією із задач діагностики стійкості структури соціально-економічної системи є дослідження зміни структури системи в часі. Ця задача може бути розв'язана на підставі побудови структур системи у вигляді графу в зазначені моменти часу і подальшого порівняння цих графів. Побудова моделі соціально-економічної системи детермінованими методами дає змогу визначити характеристику стійкості системи в зазначений момент часу і дослідити її зміну в динаміці, а просторова структура соціально-економічної системи у вигляді графу, своєю чергою, дає змогу визначити структурні причини зміни стійкості, тому побудова графів у динаміці та їх аналіз допомагають діагностувати зміни структури елементів системи та зв'язків між ними, що вплинули на зазначені зміни. Ця задача ускладнюється порівнянням образів графів, одержаних у різні проміжки часу. У цих умовах достатньо застосувати ізоморфізм графів. Ізоморфними графами в нашому випадку будемо вважати взаємно однозначну відповідність між множиною вершин двох графів у G_t і G_{t+z} структури соціально-економічної системи у проміжки часу t і $t+z$, які зберігають відношення суміжності, а самі графи будемо називати ізоморфними, тобто $G_t = G_{t+z}$. Якщо графи G_t і G_{t+z} , які утворені однією структурою соціально-економічної системи, не є ізоморфними і система демонструє зміну характеристики стійкості, то досліджуються елементи та зв'язки між ними, що з плином часу були змінені. Ізоморфізм графів можна легко виявити на підставі їхньої інваріантності, тобто характеристик графу G , котрі приймають те саме значення для будь-якого графу, ізоморфного G . Аналіз графів на ізоморфність треба починати з порівняння значень певної множини інваріантів, прямуючи від простих до складніших. Якщо кількісні характеристики інваріантів не збігаються і графи є не ізоморфними, переходять до наступного аналізу – більш глибокого дослідження зміни стійкості системи.

Одним із недоліків графічного представлення структури соціально-економічної системи є неможливість дослідження динамічних властивостей структури системи та її елементів, тобто одночасного визначення просторової структури системи та її поведінки в часі. Для усунення цього недоліку запропоновано метод системно-динамічного відображення зміни структури і зв'язків між її елементами на основі причинно-наслідкової моделі «витрати – випуск». Системно-динамічний підхід дає змогу проаналізувати поведінку системи залежно від організації її структури. На основі цього методу аналізуються зміни стійкості соціально-економічної системи на підґрунті формалізованої

причинно-наслідкової діаграми зміни зв'язків між елементами соціально-економічної системи. Причинно-наслідковий граф відображає елементи структури системи, а зв'язки між ними відображаються у вигляді причинно-наслідкових відношень (динамічних змін) між кожною парою елементів системи. Своєю чергою, ці зв'язки можуть носити як позитивний, так і негативний характер.

Сутність запропонованого методу ґрунтується на моделі «витрати – випуск», яка запропонована В. Леонтьєвим. Сутність цього методу полягає в аналізі витрат структури відтворення у розрізі окремих галузей відповідно до головної мети соціально-економічної системи – залишатися життєздатною, зберігаючи стійкість розвитку, тобто продукувати, перерозподіляти і відтворювати ресурси й блага для забезпечення власних потреб та постійного економічного зростання. На практиці виробничу мету будь-якої соціально-економічної системи можна віднести до двох груп:

а) вироблювані ресурси (продукція) використовуються для поточних потреб системи (проміжні ресурси);

б) ресурси (продукція), що споживаються самою системою і йдуть на нагромадження (тобто на збільшення капіталу), називаються кінцевою продукцією.

Граф системи формується на основі симетричної матриці, кожний елемент якої демонструє приріст розподілу продукції окремої галузі (для соціально-економічних систем мікрорівня може бути представлений окремих підрозділ підприємства), що йде на виробниче споживання в різних галузях (підрозділах підприємства) цієї системи. Кожний з окремих показників матриці Δx_{ij} – це різниця між обсягами потоків x_{ij}^t і x_{ij}^{t-1} з галузі i до галузі j у моменти часу t і $t-1$ на цілі виробничого використання. Для формування матриці були вибрані саме показники різниці обсягів потоків у моменти часу t і $t-1$, оскільки ці показники характеризують стійкість соціально-економічної системи. Якщо сума всіх елементів сформованої матриці $\sum_{i=1}^n \Delta x_{ij} \geq 0$ (n – кількість елементів у матриці), це говорить про стійкість системи. Якщо ж сума всіх показників матриці є від'ємною, це говорить про нестійкий стан системи. Розгляд першого квадранту моделі «витрати – випуск» показує внутрішню структуру соціально-економічної системи: якщо приріст потоків у системі є позитивним, то і система продукує ресурси для кінцевого споживання.

Сформована матриця є матрицею суміжності для побудови мультиграфу і має вигляд:

$$\Delta X = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 & \dots & v_n \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \vdots \\ v_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \Delta X_{11} & \Delta X_{12} & \Delta X_{13} & \dots & \Delta X_{1n} \\ \Delta X_{21} & \Delta X_{22} & \Delta X_{23} & \dots & \Delta X_{2n} \\ \Delta X_{31} & \Delta X_{32} & \Delta X_{33} & \dots & \Delta X_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta X_{n1} & \Delta X_{n2} & \Delta X_{n3} & \dots & \Delta X_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

Розглянемо властивості цієї матриці та мультиграфу, який вона формує. Сформований мультиграф цієї матриці є орієтованим графом, у якому є петлі і паралельні дуги між кожними двома елементами системи. Наявність петель показує споживання в тій галузі, що виробляє ресурси, тому діагональ матриці має значення. Наявність паралельних дуг між кожними двома елементами матриці пояснюється тим, що є продукція, яка виробляється в галузі i та споживається в галузі j , і навпаки, є продукція, яка виробляється в галузі j та споживається в галузі i . Кожний елемент ΔX_{ij} є вагою дуги і позначається на мультиграфі. Всі елементи ΔX_{ij} , які мають від'ємне значення, погіршують стійкість системи, і навпаки, якщо елементи ΔX_{ij} мають позитивні значення, вони формують стійкість системи.

Якщо поєднаємо всі інцидентні вершини з ребрами, у яких найбільші ваги $\Delta X_{ij} / \sum_{i=1}^n \Delta X_{ij}$, отримаємо «каркас системи», який показує поєднаність найбільших галузей між собою.

Ці галузі формують нагромадження капіталу і приріст ресурсів у системі, тобто формують стійкість системи.

Використання методу дослідження стійкості системи на основі моделі «витрати – випуск» дає змогу виявити найбільш вагомні елементи соціально-економічної системи, які впливають на її стійкість. Формування «каркасу системи» під час дослідження її на стійкість дасть змогу розробляти управлінські впливи на окремі елементи системи для підвищення глобальної стійкості системи.

Висновки з даного дослідження. Таким чином, викладене вище дало змогу визначити, що використання структурного підходу до моделювання соціально-економічної системи вирішує багато завдань, пов'язаних із діагностикою й управлінням стійкістю таких систем. Також використання структурного підходу дає змогу формалізувати і структурувати знання про явища та процеси, що відбуваються в системі, й прогнозувати їх у майбутньому. У комплексі з детермінованим і стохастичним підходами запропонований підхід дає змогу аналізувати позитивні і негативні зміни у зовнішньому середовищі, які можуть впливати на стан і поведінку соціально-економічної системи, а також досліджувати напрями розвитку соціально-економічної системи і формувати на його підставі системи підтримки прийняття управлінських рішень.

Список використаних джерел:

1. Сергеева Л.Н., Бакурова А.В., Воронцов В.В., Зульфугарова С.О. Моделирование структуры житездатных социально-экономических систем: монография. Запорижжя: КПУ, 2009. 200 с.
2. Сергеева Л.Н., Бакурова А.В. Концепция структурной сложности социально-экономической системы. Модели управления в рыночной экономике: сб. науч. трудов. Донецк, 2008. С. 425–433.
3. Воронин А.А., Мишин С.П. Оптимальные иерархические структуры: монография. М.: ИПУ РАН, 2003. 214 с.
4. Davydova I.O., Revenko D.S., Lyba V.O. The Stability of Socio-Economic Systems Under conditions of Global Development: collective monographi. Coastal Regions: Problems and Paradigms of Socio-Economic Development. Riga, Latvia: Publishing House Baltija Publishing, 2018. P. 167–187.
5. Ревенко Д.С. Дослідження динамічної стійкості економічного зростання України (детермінований підхід). Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту. 2014. Вип. 2. С. 146–155.