

ТОПОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ БАНКІВСЬКОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ

У статті досліджено основні методи топології, що можуть бути використані для аналізу інноваційних процесів у банківському секторі, а також побудовано модель інноваційного розвитку. Проведений аналіз логістичних функцій показав, що у банківському секторі протягом останнього десятиліття спостерігаються значні осциляції, що зумовлені як недосконалістю процесів управління всередині системи, так і появою нових технологій, що є загрозою стабільності для всього банківського світу. Було розраховане цикломатичне число з метою визначення складності банківської системи в Україні. За допомогою топологічних тестів було проаналізовано динаміку банківського сектору.

Ключові слова: топологічна модель, інноваційний розвиток, банківський сектор, аналіз, модель, цикломатичне число.

YUKHYMENKO T. V.
SHEE "University of Banking"

TOPOLOGICAL MODEL OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF UKRAINE'S BANKING SECTOR

The article examines the main methods of topology that can be used to analyze innovation processes in the banking sector, the model of innovation development was constructed in the article. The analysis of logistics functions showed that significant oscillations have been seen in the banking sector over the past decades; they are caused by the imperfection of the management processes within the system and the emergence of new technologies, which are a threat to the stability of the entire world banking. Cyclomatic number was calculated to determine the complexity of the banking system in Ukraine. Using topological tests, dynamics of the banking sector was analyzed in the article.

Keywords: topological model, innovative development, banking, analysis, model, cyclomatic number.

Постановка проблеми. Інноваційний розвиток банківського сектору є досить складним економічним процесом, що вимагає ретельного аналізу. Одним з ефективних методів для такого аналізу є топологічна математика. Використання топології для аналізу топологічних процесів дозволяє будувати моделі, які неможливо описати стандартним економетричним інструментарієм.

Більшість моделей, що описують інноваційні процеси на банківських ринках, зводяться до лінійних балансових процесів, які можна описати «input-output-парадигмою». Підприємства і галузі виступають у цих моделях у вигляді лінійних операторів, що перетворюють входи на виходи додаючи певну вартість на кожному етапі. З'являється конкуренція за доступ до обмежених ресурсів, входи мінімізуються, а виходи максимізуються за допомогою рівноважних цін. У результаті створюється ланцюжок підприємств, що дають максимальний в масштабах системи «input-output» ефект при заданих обмеженнях на ресурси.

Однак для проектування моделей, що мають значний вплив на економіку в цілому на невизначений період часу, такий підхід не є оптимальним. Відповідно розробка моделей на основі топологічних підходів, що серед іншого передбачає врахування впливу циклів, є більш ефективною, а методи топологічної оптимізації сприятимуть досягненню максимального ефекту без втрат при поділі на модулі.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій. Використання інструментарію топології в економіці, а тим більше в дослідженні інноваційних процесів залишається на початковому рівні. До сих пір топологія більше застосовується для аналізу інформаційних систем, тому більшість наукових досліджень зосереджують увагу саме на цьому аспекті. Однак користь від таких інструментів для економіки не викликає сумнівів. Серед українських наукових досліджень виділяються роботи економістів Голованенка М., що застосовував топологічні тести на економічних системах, та Сугакова В., що розглядав питання синергетики. Крім того, заслуговують на увагу роботи зарубіжних дослідників Попкова В. та Батурина А., що розглядали питання використання топологічних методів в аналізі економічних систем.

Враховуючи відносну новизну цієї сфери економічних досліджень, корисними класичні наукові роботи вчених-математиків Александрова П., Зикова О., Белоусова А., Ткачева С., Фулера Р., Вілера Дж. та інших.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження основних методів топології для аналізу інноваційних процесів у банківському секторі, а також побудова моделі інноваційного розвитку.

Основні результати дослідження. Топологія — розділ математики, який розглядає неперервність. Неперервне відображення деформує простір, не розриваючи його, при цьому окремі точки або частини простору можуть поєднатися, а близькі точки залишаються близькими. Метричні характеристики у топології вважаються несуттєвими, проте вивчаються такі фундаментальніші властивості фігури, як зв'язність або можливість неперервно zdeформувати її до сфери і зворотно. Топологічні методи широко використовуються у функціональному аналізі [1].

Розглянемо інноваційний розвиток на основі певної технології як безперервну функцію, що залежить від обсягу вкладених інвестицій. У математиці, безперервною є функція, для якої невеликі зміни в результаті введення є наслідком невеликих змін аргументу. В іншому випадку, функція називається розривною функцією. Безперервність функцій є одним з основних понять топології.

Інноваційний розвиток банківського сектору можна розглядати як логістичну функцію в загальному вигляді (рис. 1), що залежить від обсягу інвестицій:

$$f(x) = \frac{C}{1 + e^{-k(x-x_0)}}, \quad (1)$$

де C – максимальний рівень споживання продукції, що вироблена за певної технології;

e – основа натурального логарифму;

k – крутизна кривої;

x – аргумент функції, інвестиції в інноваційну діяльність;

x_0 – медіанне значення x для сигмовидної функції.

Для спрощення моделювання нормалізуємо усі параметричні значення функції та припустимо, що $C = 1$, $k = 1$, $x_0 = 0$. Тоді функція матиме вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}, \quad (2)$$

Похідна функції виглядатиме як

$$\frac{\partial f(x)}{\partial x} = \frac{-1}{(1 + e^{-x})^2} \cdot (-e^{-x}) = \frac{e^{-x}}{(1 + e^{-x})^2} = \frac{1}{1 + e^{-x}} \cdot \frac{(1 + e^{-x}) - 1}{1 + e^{-x}} = \frac{1}{1 + e^{-x}} \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + e^{-x}}\right) = f(x) \cdot (1 - f(x)). \quad (3)$$

Похідна не має екстремумів та є додатною для усіх значень x , а це відповідно означає, що при збільшенні інвестицій в інноваційну діяльність значення функції (сукупне споживання) теж зростатиме. Для того, щоб оцінити ефективність таких інвестицій доцільно знайти другу похідну функції:

$$\begin{aligned} \partial^2 f(x) / \partial x^2 &= (\partial(f(x)(1 - f(x))) / \partial x) = (\partial f(x) / \partial x) - (\partial f^2(x) / \partial x) = \\ &= 1 / (1 + e^1(-x)) \cdot (1 - 1 / (1 + e^1(-x))) - (2e^1(-x)) / (1 + e^1(-x))^3 = \\ &= 1 / (1 + e^1(-x)) \cdot (1 - 3 / (1 + e^1(-x))) + 2 / (1 + e^1(-x))^2 = f(x) \cdot (1 - 3 \cdot f(x) + 2 \cdot f^2(x)). \end{aligned} \quad (4)$$

Привіряємо знайдене значення до 0. Існує 3 можливі розв'язки цього рівняння $f(x) = (0; 0,5; 1)$. Підставимо знайдені значення у функцію та знайдемо x . При $f(x)$, що дорівнюють 0 та 1 значення x не існують, залишається лише $f(x) = 0,5$, яке досягається у випадку, коли $x = 0$. Знак другої похідної функції $f(x)$ при $x < 0$ позитивний, а при $x > 0$ негативний. Це свідчить про те, що гранична корисність інвестицій на перших етапах інноваційної діяльності збільшується, тобто кожна додаткова гривня вкладена в проект на початкових етапах збільшує його ефективність. Проте після проходження певної точки (у нашому умовному випадку $x = 0$, що відповідає нормалізованому медіанному значенню x_0), гранична корисність інвестицій починає знижуватись і додаткові ресурси приносять менший результат, ніж було вкладено.

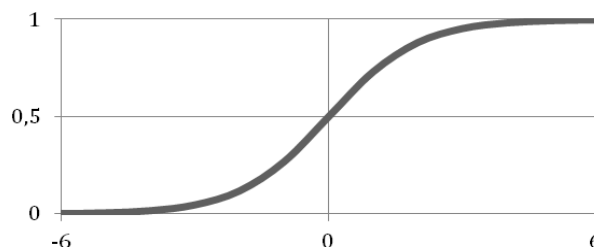


Рис. 1. Функція споживання від інвестицій в інноваційну діяльність

З точки зору топології функція споживання продукції інноваційної діяльності є безперервною, оскільки задовольняється умова:

$$\lim_{x \rightarrow c} f(x) = f(c). \quad (5)$$

Проте при досягненні максимального рівня споживання інвестиції в існуючі технології є недоцільними, а певна частина споживачів готова перейти до більш прогресивних технологій, що може викликати осциляції, а це суперечить топологічним основам безперервності. У результаті таких процесів інвестиції перетікають до потенційно більш прибуткових інноваційних технологій, досягається новий рівень споживання (рис. 2).

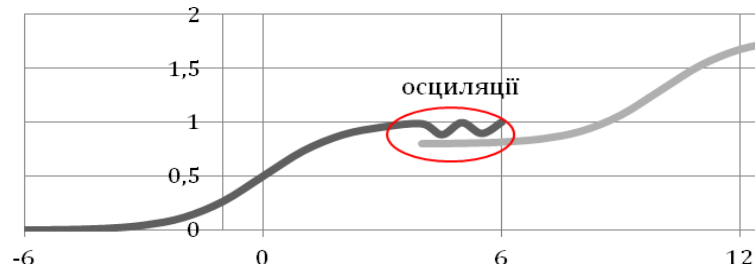


Рис. 2. Перехід до нового рівня споживання

Значні осциляції означають, що система досягла точки бифуркації – критичного стану, при якому вона стає нестійкою і виникає невизначеність: чи стане стан системи хаотичним або вона перейде на новий, більш диференційований і високий рівень впорядкованості. Варто відзначити, що у банківському секторі як в Україні, так і в світі останнє десятиліття спостерігаються значні осциляції, що зумовлені як недосконалістю процесів управління всередині системи, так і появою нових технологій, що є загрозою стабільності для всього банківського світу. До таких технологій належать віртуальні валюти, електронні гаманці, системи кредитування на основі відносин “споживач-споживачу” без посередників тощо.

Проте поява осциляцій для функції, що описує розвиток певної інноваційної технології не означає, що топологія простору зруйнована. Певні фактори, які можна описати як функції впливу (I), можуть позначатися на кінцевому продукті (Q), прибутку, цінах та інших категоріях в економічній системі. Вони, як правило, залежать від економічних результатів, а іноді навіть є стохастичними. У безперервному топологічному різноманітті економіки такі стохастичні фактори легко ламають первісну структуру і формують новий отвір (розвиток нових технологій, нові продукти). У результаті, ці процеси стануть основою для багатозв'язкового топологічного різноманіття. В образі топології економічна структура є чашкою, в той час як функція впливу є ручкою.

Якщо функція впливу змінюється з часом, система буде більш складною. Припустимо, що економічна система і її зміна лінійні:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = a_{11}Q_0 + a_{12}I_0. \quad (6)$$

$$\frac{\partial I}{\partial t} = a_{21}Q_0 + a_{22}I_0. \quad (7)$$

Їх матриця характеристик:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Відповідне характеристичне рівняння:

$$\lambda^2 - (a_{11} + a_{22})\lambda + (a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}) = \lambda^2 - T\lambda + D = 0. \quad (9)$$

Для найпростішого прикладу припустимо, що зміни продукту і функція впливу є незалежними один від одного, тобто, $a_{12} = a_{21} = 0$. Відповідно дискримінант для знаходження λ дорівнюватиме $T^2 - 4D = (a_{11} + a_{22})^2 - 4a_{11}a_{22} = (a_{11} - a_{22})^2 \geq 0$ для усіх реальних значень функції, а розв'язком рівнянь буде $Q = Q_0 e^{a_{11}t}$, $I = I_0 e^{a_{22}t}$. Коли a_{11} , a_{22} дійсні числа одного знаку, то станом (Q_0, I_0) системи є вузлова точка, яка є стабільною для $a_{11}, a_{22} < 0$, і нестійкою при $a_{11}, a_{22} > 0$ (рис.3). Коли a_{11} , a_{22} дійсні числа протилежних знаків, то стан (Q_0, I_0) системи є сідловою точкою. Це означає, що випуск продукції збільшується, а вплив зменшується.

Якщо ж одночасно відбуваються зміни у продукції і функції впливу, стан економічної системи можна описати також як спіральну (фокальну) точку і т.д. У такому випадку форма функції впливу може бути необмеженою, навіть випадковою.

Досконала конкуренція переважає, якщо кожен виробник і споживач визначає ціни на основі незалежних власних рішень. Економічні відносини, засновані на змовах та залежні від функцій впливу, є видом недосконалих конкурентних економічних систем, і розривають симетрії в економічній топології. Вони не є гомеоморфними. Зазвичай така структура буде перешкоджати економічному розвитку.

Коли функція впливу стає досить значною та досягає певного порогового значення, економічна еластичність топологічної структури буде розбита, і з'явиться новий отвір. Ринкова економіка буде пронизана отворами. Це сформує нове багатозв'язкове топологічне різноманіття. Як приклад, з використанням концепції загальної теорії відносності великий вплив як маси загальної теорії відносності утворює яму в економічній системі. Відповідно до теорії Фуллера-Уїлера [2], дуже через дуже глибоку яму

можна побудувати червоточину (кротячу нору), іноді її називають міст Ейнштейна-Розена [3]. Таким чином, деякий обсяг капіталу буде проходити через горло в інший топологічний простір, або з області в іншу область у тому ж просторі (рис. 4). Ця модель може описувати перетік капіталу внаслідок інноваційних перетворень в банківському секторі.

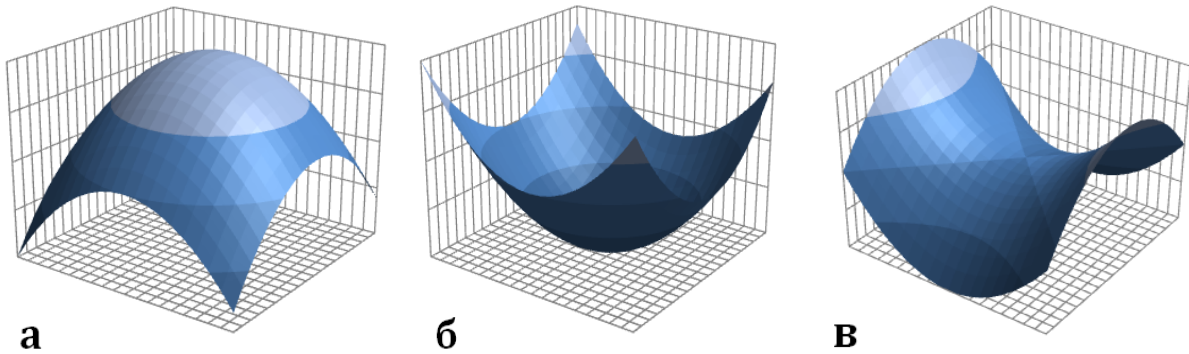


Рис. 3. Стани системи: а) зі стабільною вузловою точкою; б) нестабільною вузловою точкою; в) з сідловою точкою

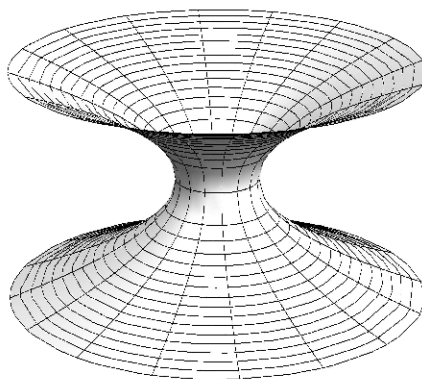


Рис. 4. Модель червоточини (кротячої норі) інноваційного розвитку з одного топологічного простору в інший (перетікання капіталу від однієї технології до іншої)

Топологічну модель інноваційного розвитку банківського сектору можливо представити за допомогою дискретної математики, а саме у вигляді графів. Графом називається сукупність певних об'єктів (вершини, або вузли графу) із зв'язками між ними (дуги, або ребра).

Інноваційний розвиток є зв'язним мішаним мультиграфом, оскільки має як ребра (не орієнтовані зв'язки), так і дуги (лінії з певним напрямком). До того ж такий граф містить численні кратні (паралельні) дуги або ребра, що сполучають пару вершин, та петлі, що сполучають вершину саму із собою [4]. Граф інноваційного розвитку має елементи як дерева, так і циклу.

Ізоморфною характеристикою графів є цикломатичне число або перше число Бетті [5], що дорівнює:

$$\lambda(L) = m(L) - n(L) + \aleph(L). \quad (10)$$

де $m(L)$ — кількість ребер; $n(L)$ — кількість вершин; $\aleph(L)$ — кількість компонент.

Оскільки граф інноваційного розвитку є зв'язним, то кількість компонент дорівнює 1. Наявність циклів у графі дозволяє визначити, що $m(L) - n(L) > 1$, відповідно $\lambda(L) > 0$. Як наслідок у графі можна видалити $\lambda(L)$ ребер, а суграф, який залишиться не матиме циклів, а кількість компонент залишиться сталою. Якщо із L видалити меншу кількість ребер, новий суграф міститиме цикли.

Відповідно процес інноваційного розвитку можливо спростити до форми дерева що значно полегшує аналіз взаємозв'язків та взаємозалежностей. Такий суграф називається каркасом і має відповідати умовам:

$$\begin{aligned} \aleph(T) &= \aleph(L); \\ m(T) &= m(L) - \lambda(L); \\ \lambda(T) &= 0. \end{aligned}$$

Визначення каркасу для процесу інноваційного розвитку є надзвичайно важливим, оскільки він є основою для моделювання процесу прийняття управлінських рішень. Поява нової технології у банківському

секторі відповідає появі нової вершини з дугою або навіть циклу, що вбудовується в граф. Відповідно, змінюється топологія графу, його цикломатичне число та суграф-каркас, що у свою чергу впливає на процес прийняття рішень у банківській установі. Такі зміни є надзвичайно динамічними, а відсутність своєчасної реакції на них є однією з причин невдач при впровадженні інновацій.

У програмуванні, де топологічна математика є одним з найважливіших методів аналізу, розраховують цикломатичну складність, що відповідає кількості лінійно незалежних маршрутів через програмний код. Одним з методів є саме обчислення першого числа Бетті, що може розглядатися як кількість лінійно незалежних циклів, які існують в графі, тобто тих циклів, які не містять в собі інших циклів. Розрахунок цикломатичної складності має важливе прикладне значення, оскільки за загальноприйнятими рекомендаціями програми мають розбиватися на модулі у разі перевищення числа Бетті позначки 10 [6]. Такий підхід дозволяє виявляти помилки у чітко визначеному місці без необхідності перевірки усього коду.

Досвід програмістів доцільно застосовувати у банківському секторі з метою аналізу впливу інноваційних процесів на розвиток галузі та економіки в цілому, що може бути корисним для центрального банку у питаннях регулювання та контролю за діяльністю банківських установ. Умовне визначення циклів дозволяє виявити модулі, що потребують особливої уваги регулятора. Такий підхід корисний не тільки у визначенні наслідків впливу інноваційних технологій на банківський сектор, а і, наприклад, в аналізі діяльності окремих фінансово-промислових груп, що створюють загрози для діяльності усього сектору та економіки в цілому.

Графи можна використовувати для оцінки складності системи з точки зору будь-яких факторів. Наприклад, під час контролю за банківськими групами. В Україні станом на 01.07.2015 офіційно визнано 17 банківських груп [7]. Відповідно діяльність кожної групи збільшує цикломатичне число принаймні на 1, оскільки банківські групи є циклами та можуть містити петлі, що впливає з їхнього офіційного визначення як діяльність двох або більше фінансових установ, для яких банківська діяльність є переважною [8]. Таким чином можна стверджувати, що цикломатичне число українського банківського сектору уже більше або дорівнює 18, що перевищує рекомендований рівень майже вдвічі. Якщо додати до графу внутрішньодержавні та міжнародні платіжні системи, що працюють в Україні, цикломатичне число зростає на 30 (станом на 05.12.2015 за даними Національного банку в Україні зареєстровано 10 міжнародних та 20 внутрішньодержавних платіжних систем [9]):

Отже, враховуючи мінімальну кількість учасників банківського сектору, виявилось, що цикломатичне число $\lambda(L) = 48$. Як наслідок, значно зростає складність управління та контролю за такою системою. Саме тому регулятору важливо забезпечити ефективний поділ на модулі, що відобразатимуть фундаментальні взаємозв'язки у системі, дозволять здійснювати простий та оперативний контроль, а також забезпечуватимуть підтримку розвитку банківського сектору в цілому.

Важливо, щоб при поділі системи на модулі новий граф був гомеотопним початковому, тобто щоб деформація одного об'єкта в інший була неперервною. Якщо новий та початковий графи є гомеотопно еквівалентними, то мають задовольнятися такі умови: рефлексивність, симетричність, транзитивність та неперервність [10].

Для поділу банківського сектору на модулі варто застосовувати метод топологічної оптимізації. Такий метод передбачає оптимізацію розташування топологічних одиниць в межах заданого простору дизайну з визначеним набором обмежень та умов, що в результаті компоновання відповідає заданим набором цільових показників.

Оптимізація топології може бути реалізована за допомогою методу скінченних елементів, що зводиться до розв'язку системи рівнянь алгебри великої розмірності, методу ковзних асимптот, методу критеріїв оптимальності, множин рівня, топологічні похідних.

Топологічна оптимізація найбільш ефективна при проектуванні системи, проте банківський сектор в Україні існує вже досить давно, тому періодично виникає проблема необхідності реформатування. Одним з найбільш яскравих прикладів такої оптимізації є очищення банківського сектору у 2014-2015 роках. У результаті такої оптимізації було виведено неплатоспроможні, кептивні, високоризикові банківські установи.

Водночас, ще не можна сказати, що вітчизняний банківський сектор досягнув оптимального стану. Наприклад, деякі форми банківського бізнесу поки що не мають значного розвитку в Україні – серед них кредитування споживачами, певні форми електронних грошей, фінансові інструменти тощо. Оскільки ринок банківських послуг є відкритою економічною системою, важливо забезпечити проектування оптимальної топологічної структури регулятором до того моменту як з'являються такі нові форми.

Використання сучасних математичних методів дозволить спростити аналіз впливу інноваційних процесів за рахунок поділу на модулі, що має такі переваги:

- властивості суміжних модулів можуть бути різними, а це дозволяє застосовувати метод до систем, складених з декількох модулів;
- скінченними елементами є прості топологічні області (прямі лінії, трикутники, прямокутники, піраміди, призми), що дозволяє апроксимувати структури зі складною формою;

- розміри елементів можуть бути змінними;
- існує можливість створення загальних програм для розв'язку завдань різного класу.

Застосування топологічної оптимізації надзвичайно важливе для проведення ефективної макропруденційної політики та фінансового програмування. Визначення оптимальної структури дозволить регулятору розробити нормативно-правову документацію, що сприятиме інноваційному розвитку та нівелює системні ризики, що виникають у процесі змін.

Більшість моделей в економічній теорії, що описують будь-які ринки, зводяться до лінійних балансових процесів, які можна назвати «input-output-парадигмою». Підприємства і галузі виступають у цих моделях у вигляді лінійних операторів, що перетворюють входи на виходи додаючи певну вартість на кожному етапі. З'являється конкуренція за доступ до обмежених ресурсів, входи мінімізуються, а виходи максимізуються за допомогою рівноважних цін. У результаті створюється ланцюжок підприємств, що дають максимальний в масштабах системи «input-output» ефект при заданих обмеженнях на ресурси [11].

Однак такий підхід не є оптимальним для проектування моделей, що мають значний вплив на економіку в цілому на невизначений період часу. Це можна підтвердити відомим економічним фактом, що сума максимумів елементів системи менша або дорівнює максимуму системи. Відповідно розробка моделей на основі топологічних підходів, що серед іншого передбачає врахування впливу циклів, є більш ефективною, а методи топологічної оптимізації сприятимуть досягненню максимального ефекту без втрат при поділі на модулі.

Важливим питанням інноваційного розвитку банківського сектору є дослідження його здатності до саморегуляції та самоорганізації. Одним з цікавих напрямків таких досліджень є синергетика – теорія самоорганізації в системах різноманітної природи. Синергетика досліджує явища та процеси, в результаті яких система може отримати властивості, якими не володіє жодна з її частин [12].

Важливе місце в синергетиці займає проблема визначення типу динаміки системи, яка буває регулярна та випадкова (у тому числі хаос). Наявність хаосу в поведінці систем напряму пов'язана з їхньою здатністю до саморегуляції та самоорганізації. Дослідження динаміки систем пов'язано з обґрунтуванням доцільності зовнішнього управлінського впливу на систему [13].

Для визначення динаміки банківської системи України були проаналізовані показники співвідношення регулятивного капіталу до зважених за ризиком активів за період з 2005 року за допомогою топологічних тестів, а саме був побудований псевдофазовий простір – залежність наступних значень часового ряду від попередніх (рис. 5).

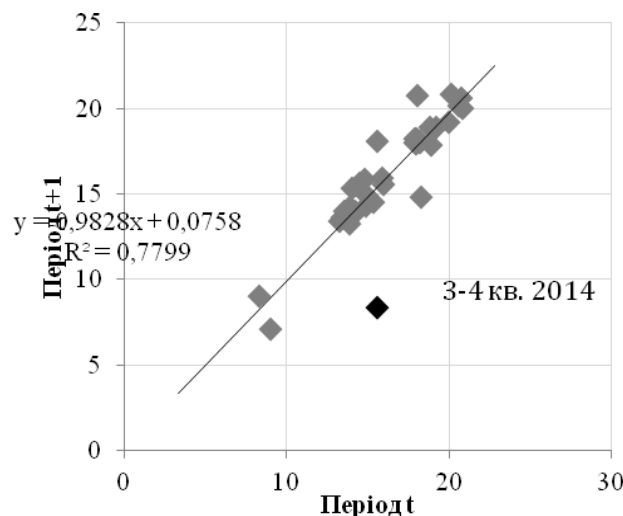


Рис. 5. Псевдофазовий простір співвідношення регулятивного капіталу до зважених за ризиком активів

Як видно з рис. 5 ряд має певний стійкий тренд, що свідчить про наявність атратора, який в свою чергу є визначником детермінованого хаосу. Це означає, що система здатна до саморегуляції та самоорганізації. Проте на графіку можна помітити топологічний розрив, а саме точку, яка суттєво відхиляється від загального тренду. Ця точка відповідає другій половині 2014 року, що відповідає даті початку очищення банківського сектору від проблемних банків. У цей час система потребувала найбільшого регуляторного впливу для виведення на траєкторію розвитку.

Висновки. У статті досліджено основні методи топології, що можуть бути використані для аналізу інноваційних процесів у банківському секторі, а також побудовано модель інноваційного розвитку. Проведений аналіз логістичних функцій показав, що у банківському секторі протягом останнього десятиліття спостерігаються значні осциляції, що зумовлені як недосконалістю процесів управління всередині системи, так і появою нових технологій, що є загрозою стабільності для всього банківського світу. До таких технологій належать віртуальні валюти, електронні гаманці, системи кредитування на основі

відносин “споживач-споживачу” без посередників тощо. У точках біфуркації економічна еластичність топологічної структури розбивається, і з'являється новий отвір – червоточина, у якій деякий обсяг капіталу буде проходити в іншій топологічний простір, або з області в іншу область у тому ж просторі. Це відповідає інноваційним процесам.

Було розраховане цикломатичне число з метою визначення складності банківської системи в Україні. Виявилося, що воно значно перевищує норму і, як наслідок, значно зростає складність управління та контролю такою системою. Саме тому регулятору важливо забезпечити ефективний поділ на модулі, що відображатимуть фундаментальні взаємозв'язки у системі, дозволять здійснювати простий та оперативний контроль, а також забезпечуватимуть підтримку розвитку банківського сектору в цілому.

За допомогою топологічних тестів було проаналізовано динаміку банківського сектору. У результаті аналізу виявилося, що попри численні негативні процеси банківський сектор в Україні здатний до саморегуляції та самоорганізації за умов серйозного втручання регулятора у діяльність банків.

Література

1. Александров П.С. Введение в теорию множеств и общую топологию / Александров П.С. – Москва : Наука, 1977. – 368 с.
2. Fuller R.W. and Wheeler J.A. Causality and multiply-connected space-time. *Phys. Rev.*, 128, 919-929 (1962).
3. Misner C.W., Thorne K.S. and Wheeler J.A. *Gravitation*. W.H. Freeman&Company. 1973.
4. Белоусов А. И., Ткачев С. Б. Дискретная математика : учебник для вузов / под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. — 3-е изд., стереотипное. — М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.
5. Зиков О. О. Енциклопедія кібернетики / Зиков О. О. – Т. 2. – 519 с.
6. National Institute of Standards and Technology [Електронний ресурс] / U.S. Department of Commerce. – 2015. – Режим доступу : <http://www.nist.gov>.
7. Інформація про визнані банківські групи [Електронний ресурс] / Національний банк України. – 2015. – Режим доступу : http://www.bank.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=81450&cat_id=57513.
8. Про банки і банківську діяльність : закон України від 07.12.2000 р. № 2121-III.
9. Відомості з Реєстру платіжних систем [Електронний ресурс] / Національний банк України. – 2015. – Режим доступу : http://www.bank.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=8436153&cat_id=7298430.
10. Васильев В. А. Введение в топологию / Васильев В. А. – М. : ФАЗИС, 1997. — 132 с. — ISBN 5-7036-0036-7
11. Попков В.В. Оптимізаційна мережева модель економіки: топологічний підхід / В.В. Попков, А.Н. Батурин // Матеріали Другої міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-математичні технології в економіці, техніці та освіті», 22–24 листопада 2007 р. – Єкатеринбург. – С. 114–135.
12. Сугаков В. Й. Основи синергетики / Сугаков В. Й. – К. : Обереги, 2001. — 287 с.
13. Голованенко М. Діагностування типу динаміки соціально-економічних систем з використанням топологічних тестів (на прикладі країн ЄС) / М. Голованенко // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка. – 2013. – № 10. – С. 57–61.

Надійшла 08.11.2016; рецензент: д. е. н. Лапко О. О.