

**ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ МОДЕЛЮВАННЯ ЛАВИНОПОДІБНИХ ПРОЦЕСІВ
УСЕРЕДИНІ СИСТЕМ ФІНАНСОВИХ ІНСТИТУТІВ**

Проведено аналіз сучасних підходів до моделювання розповсюдження лавиноподібних процесів. На прикладі динаміки економічної кризи у банківському секторі США 2007-2012 рр. розглянуто можливість застосування моделей динаміки епідемії для вивчення наслідків системних криз фінансових інституцій. Визначені основні завдання подальших досліджень у цьому напрямку.

Ключові слова: кризові явища, лавиноподібні процеси, математична теорія епідемії, SIR-модель, MSEIR-модель, банківська система.

Моделювання кризових явищ в економіці є одним з найбільш затребуваних напрямків наукових досліджень. А частота виникнення різких амплітудних коливань ринкової кон'юнктури стимулює цікавість потенційних споживачів до таких досліджень.

Більшість напрацювань у цій галузі мають на меті попередження кризових процесів, та, відповідно, спрямовані на побудову моделей прогнозування таких явищ. Проте, як показує практика, передбачення настільки стрімких деформаційних змін в економіці поки що неможливе. Насамперед це пов'язано з необхідністю врахування та аналітичної формалізації великої кількості макроекономічних та соціально-психологічних факторів. Практично поза увагою залишаються процеси розповсюдження кризових процесів усередині певних структур та систем економічних агентів, таких, наприклад, як фінансові установи. Необхідність та важливість цих досліджень не викликає сумніву, адже негативні показники діяльності чи банкрутство в результаті системної кризи одного з учасників ринку може призвести до краху всієї системи загалом. Питання швидкості та масштабності поширення таких процесів є життєво важливими для фінансової системи цілої країни. Це питання добробуту її громадян.

Наша робота має на меті:

1. Дослідження сучасних підходів до моделювання процесів розповсюдження кризових явищ усередині економічних систем, визначення їх обмежень та можливостей.
2. Вивчення особливостей застосування біологічно-математичних моделей динаміки епідемії у термінах економічних систем, їх переваг та недоліків.
3. Визначення основних напрямків та задач подальших досліджень у цьому напрямку.

Сучасні підходи до моделювання кризових та катастрофічних явищ за аналогією до методів аналізу фінансових ринків можуть бути поділені на три групи:

1. Фундаментальні, що поєднують у собі концептуальні економічні теорії, у межах котрих досліджуються фактори, рушійні сили та механізми розвитку стрімких змін в економіці. Їх поділяють на екстернальні (розглядають зовнішні фактори коливань розвитку економіки: війни, революції,

політичні потрясіння, відкриття великих родовищ корисних копалин, що мають стратегічне значення, науково-технічні винаходи, котрі здатні докорінно змінити структуру суспільного виробництва тощо) та інтернальні (у якості основної причини визначають внутрішні економічні чинники, зокрема, диспропорцію між попитом та пропозицією. Найбільш відомі парадигми: кейнсіанська, неокласична та монетаристська [1]).

2. Психологічні – містять теорії, за якими основною рушійною силою циклічного розвитку економіки є властивості загальнолюдської психіки та культури. Серед основних концепцій цього напрямку можна виокремити роботи: У. Джевонса та В. Парето [2] (називають початковим імпульсом відхилення економіки від рівноважної траєкторії перебільшені оптимістичні настрої серед підприємців, що спекулятивно роздувають сукупний попит), Дж. М. Кейнса [1] (підкреслював нестійкість ділової психіки значної частини учасників ринку, через що вони сповнені недовіри до нього та завжди готові до паніки), А. Пігу [3] (розглядав «недосконалість» ринкової інформації, коли підприємці не володіють інформацією про обсяги виробництва конкурентів, і врешті пропозиція неминуче перевищує попит), Р. Лукаса [4] та Дж. Мута [5] (розробили теорію раціональних очікувань, в її основі лежить принцип оптимізації придбання та обробки інформації для формування думки про майбутню динаміку ринка), Ольсевича Ю. Я. [6] (розглядає гіпотезу психолого-інституціональних циклів зміни «еліт», що контролюють ієрархічну структуру ринка) та інших.
3. Економіко-математичні. Найбільш значущі розробки і досягнення у сфері ідентифікації та формалізації кризових процесів оформилися у наступні концепції.

Теорія катастроф та детермінованого хаосу: до основних результатів належить виявлення та побудова певних універсальних структур поведінки нелінійних динамічних систем, таких, як дивні аттрактори та точки біфуркації [7, 8]. Проте, незважаючи на незаперечні досягнення у цій сфері, великі сподівання, пов'язані із застосуванням цих методів для прогнозування та моделювання кризових явищ, поки залишаються не виправданими. Насамперед це пов'язано з відсутністю

побудованих універсальних аналітичних моделей у цій галузі.

Теорія циклічного розвитку економіки. Доводить, що розвиток економіки – це рух по хвилеподібній траєкторії. Дослідження історичних даних дають можливість виділити економічні цикли, котрі мають однакову тривалість. Розрізняють: довгі хвилі Кондратьєва (тривалістю 40-60 рр.), ритми Кузнеца (15-25рр.), середньострокові цикли Жюгляра (7-11 рр.), короткострокові цикли Кітчина (40-59 місяців). Дозволяє з достатньою точністю прогнозувати часові межі коливачь економічної кон'юнктури. Також серед беззаперечних здобутків цих досліджень – виділення складових елементів (фаз) у межах кожного окремого циклу.

Побудова системи соціально-економічних індикаторів-передвісників та відслідковування їх динамки. Цей спосіб має на меті винятково передбачення кризових явищ і є подібним до технічного аналізу фінансових ринків. По суті будь-яка криза супроводжується різкими коливаннями технічних індикаторів. Проте розпізнати випереджальний сигнал про закінчення зростаючого тренду в економіці є непростю справою через необхідність відслідковування одразу великої кількості показників. Для прогнозування економічних криз розроблені та використовуються специфічні індикатори. Зокрема: для країн, що розвиваються, показником політичної нестабільності є «молодіжний бугор» (тимчасове збільшення частки молоді в країні); на наближення економічної кризи вказує вибухове зростання цін на високоліквідні товари та ін.

Більшість розглянутих методик спрямовані на пошук економічних, соціально-психологічних або аналітичних закономірностей, котрі дозволяють заздалегідь сповістити про близьке настання катастрофічних змін в економіці. Проте за відсутності на даний момент чітких та перевірених правил передбачення «точки кипіння» в економічній динаміці доцільно перемістити центр тяжіння наукових

досліджень у іншу сферу. А саме - дослідити та з'ясувати швидкість, характер розповсюдження та оцінити можливі наслідки таких процесів у середині системи фінансових агентів.

Ідея дослідження розвитку та розповсюдження кризових процесів усередині певної системи не є новою. У біології, медицині, фізиці розроблені математичні моделі поширення та передачі специфічних характеристик від одного об'єкта до іншого. Стосовно економічних систем суттєвий внесок у формування наукового напрямку належить Данічу В. М. Зокрема, у межах математичної теорії лавиноподібних процесів у соціально-економічних системах, ним розроблені методи одержання математичних моделей та власне моделі поширення паніки в соціумі в дискретній і неперервній формах (у вигляді систем різницевих і диференціальних рівнянь) для різних сценаріїв зараження [9]. У своїй роботі він дає наступне визначення лавиноподібному соціально-економічному процесу (ЛСЕП) – «це процес розповсюдження певної властивості або стану в середовищі суб'єктів соціально-економічних відносин за допомогою соціально-психологічних механізмів зараження, наслідування, навіювання, що призводить до зміни економічної ситуації або середовища (попиту, пропозиції, способів або прийомів господарювання) у визначеному сегменті ринку» [9]. Для окреслення об'єкта дослідження у нашій роботі надалі використовуватимемо саме цей термін.

Розглянемо детальніше послідовність банкрутств банків США протягом світової фінансово-економічної кризи 2007-2009 рр. Її передвісником була іпотечна криза, що влітку 2007 року переросла у фінансову та розповсюдилась за межі США. Крім того, поширення наслідків кризи всередині банківської системи продовжувалось до 2012 рр. та призвело до подальшої ліквідації великої кількості фінансових посередників. Процес послідовного банкрутства значної частини фінансових інститутів у межах однієї країни протягом кількох років може бути зарахований до класу швидких. Хронологія цього процесу наведена на рисунку 1.

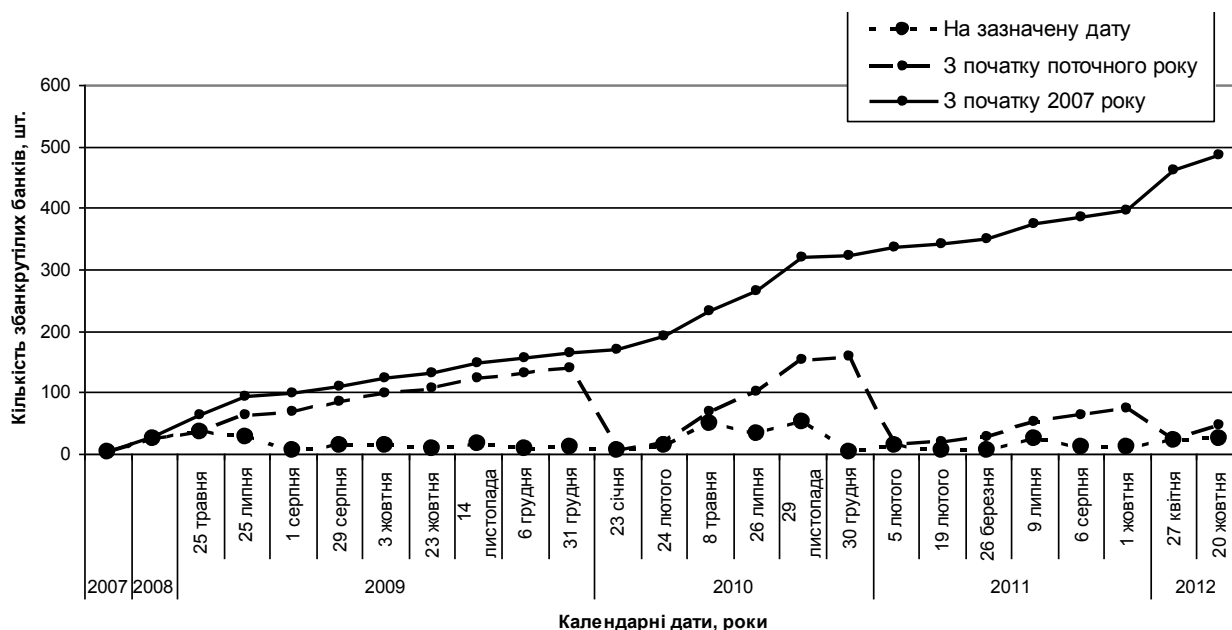


Рис. 1. Послідовність банкрутств банків США протягом 2007-2012 рр.

Процес поширення банківської кризи серед фінансових посередників на території однієї країни

(США) протягом 2007-2012 рр., що призвів до банкрутства (повної ліквідації, зміни форми власності

або власника) 485 банківських установ, може бути описаний за допомогою добре відомої у медичній сфері моделі динаміки епідемії *SIR*-моделі (отримала назву за позначеннями її основних компонентів), котра була сформульована в роботах Кермака та Мак-Кедріка [10]. У загальному вигляді вона складає систему наступних диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\beta SI, \\ \frac{dI}{dt} &= \beta SI - \nu I, \\ \frac{dR}{dt} &= \nu I,\end{aligned}\tag{1}$$

де $S(t)$ – кількість людей у системі, що є чутливими до хвороби,

$I(t)$ – кількість дійсно хворих та таких, що здатні заразити інших чутливих до хвороби індивідумів; представники цієї групи самі не є чутливими до хвороби (тобто повторне зараження у цій системі відсутнє),

$R(t)$ – кількість тих, котрі «вибули» із системи: нечутливі до інфекції, одержали імунітет у результаті хвороби або померли в результаті хвороби.

При цьому загальна кількість учасників системи є постійною і визначається так [10]:

$$N = S(t) + I(t) + R(t) = const.\tag{2}$$

Тоді ν – то є інтенсивність імунізації (зменшення кількості заражених), β – інтенсивність зараження (розповсюдження вірусу).

Модель повністю визначається на основі параметрів інтенсивності (ν , β) та початкових умов в момент часу $t = 0$. Звичайно припускають, що початкова кількість тих, що залишили систему, є нульовою ($R(0) = 0$). А введення конкретного значення для $I(0) = I_0$ достатньо, аби повністю визначити систему в момент часу $t = 0$, бо $S(0) = N - I_0$. У найпростішому випадку припускають, що процес зараження розпочався з одного індивідуума, тобто $I(0) = 1$.

Ця інтуїтивно зрозуміла модель за певних обмежень дозволяє перейти до економічного трактування змінних та описати процес розповсюдження кризи/хвороби в банківській системі.

Більш досконалий варіант моделі – *MSEIR* дозволяє врахувати в структурі системи учасників, котрі мають пасивний імунітет до захворювання (позначимо їх $M(t)$) та таких, що знаходяться в латентній фазі, тобто є носіями вірусу, але поки не здатні передавати його (позначимо $E(t)$). Тоді система диференціальних рівнянь, що описують розвиток цього процесу, матиме вигляд [11]:

$$\begin{aligned}\frac{dM}{dt} &= \mu(1 - S) - (\xi + \mu)M \\ \frac{dS}{dt} &= \mu S + \xi M + \gamma R - \mu S - \beta IS \\ \frac{dE}{dt} &= \beta IS - (\mu + \sigma)E \\ \frac{dR}{dt} &= \nu I - (\mu + \gamma)R\end{aligned}\tag{3}$$

де μ – рівень народжуваності (смертності),
 ξ – інтенсивність втрати пасивного імунітету,
 σ – інтенсивність переходу від латентного стану до захворювання,
 γ – інтенсивність втрати імунітету.

Для задачі дослідження послідовності банкрутств серед банківських установ у межах однієї країни *MSEIR* дає можливість врахувати заходи, що здійснює держава для зменшення наслідків системної кризи (пасивний імунітет), час між початком масового повернення депозитів та моментом, коли фінансова установа не в змозі виконувати власні зобов'язання (латентний період).

Проте загальним недоліком будь-якої модифікації *SIR*-моделі є її мала інформативність для державного регулятора. Результатом розв'язку наведеної системи є показники швидкості зараження (кількість банкрутств в одиницю часу); період, коли епідемія досягає максимуму, кількість банкрутств на конкретний момент часу та ін. Проте антикризове управління передбачає визначення не лише кількості «заражених», а й окреслення кола конкретних фінансових установ, що знаходяться у зоні ризику.

Для вирішення цієї задачі доцільно:

1. Дослідити світові фінансові кризи в контексті визначення спільних рис, за яких відбувалось послідовне банкрутство низки фінансових посередників.
2. Виокремити сукупність найбільш значущих показників діяльності банківської установи, що є чутливими до різкої зміни економічної кон'юнктури.
3. На основі проведеного аналізу розробити систему рейтингової оцінки та класифікації об'єктів дослідження.
4. Розглянути можливість модифікації та застосування сучасних моделей поширення лавиноподібних процесів для вирішення поставленої задачі.

Перспективним напрямком таких досліджень є використання неоднорідних моделей розповсюдження епідемій, моделей розповсюдження хвиль та рівнянь типу «реакція-дифузія».

Глобалізація та взаємне проникнення економік окремих країн робить їх надзвичайно вразливими до кризових процесів. Негативні тенденції, які розпочались в одній сфері господарювання, швидко перекидаються на інші та виходять за географічні межі держав. Це робить надзвичайно важливим дослідження процесів розповсюдження таких змін. Такі процеси належать до класу лавиноподібних. У статті проведено аналіз сучасних методів моделювання лавиноподібних процесів та визначено їх недоліки. З метою розробки системи економіко-математичних моделей динаміки розповсюдження кризових процесів у системі фінансових посередників розглянуто можливість застосування двох модифікацій моделей динаміки епідемій (*SIR* та *MSEIR*). Доведена недостатність та низька інформативність отриманих розв'язків для вирішення задач антикризового управління. Розроблено низку заходів для розв'язку поставленої задачі та визначено коло перспективних моделей для подальшої роботи.

Список літератури

1. Балакоев В. З. *Общая экономическая теория : уч. пособие.* / В. З. Балакоев. – Новосибирск, 1999. – 678 с.
2. Pareto V. *Manuel d'économie politique.* Paris / V. Pareto. – 1909. – p. 233.
3. Pigou A. C. *The Classical Stationary State* / A. C. Pigou // *Economic Journal.* – 1943. – Vol. 53 (212). – P. 343-351.
4. Lucas R. E. *Expectations and the Neutrality of Money* / R. E. Lucas // *Journal of Economic Theory.* – 1972. – Vol. 4. – P. 103-124.
5. Muth J. *Rational expectations and the theory of price movements* / J. Muth // *Econometrica.* – 1961. – № 29 – P. 315-335.
6. Ольсевич Ю. Я. *Фундаментальная неопределенность рынка и концепции современного кризиса* / Ю. Я. Ольсевич – М. : Институт экономики РАН, 2011. – 51 с.
7. Шустер Г. *Детерминированный хаос. Введение.* — М. : Мир, 1988. — 248 с.
8. Кроновер Р. М. *Фракталы и хаос в динамических системах.* — М. : Техносфера, 2006. — 488 с.
9. Данич В. Н. *Идентификация быстрых процессов. Методы и модели.* – М. : Арт-Бизнес-Центр, 1999. – 229 с.
10. Kermack W. O., McKendrick A. G. *Contribution to the mathematical theory of epidemics* / W. O. Kermack, A. G. McKendrick // *Proc. Roy. Soc. Ser.* – 1927. – Vol. 115 – P. 700-721.
11. Hethcote H. W. *The mathematics of infectious diseases* / H. W. Hethcote // *Siam Review* – 2000. – Vol. 42 – P. 599-653.

РЕЗЮМЕ

Стрельченко Инна

Проблемы и перспективы моделирования лавинообразных процессов внутри систем финансовых институтов

Проведен анализ существующих подходов к моделированию распространения лавинообразных процессов. На примере динамики экономического кризиса банковского сектора США 2007-2012 гг. рассмотрена возможность использования моделей динамики эпидемий для изучения последствий системных кризисов финансовых институций. Доказана недостаточность и низкая информативность полученных результатов для решения задач антикризисного управления. Определены основные задания последующей работы в этом направлении.

RESUME

Strelchenko Inna

Problems and prospects of modeling of cascade processes within the systems of financial institutions

The peculiarities of existing approaches to modeling of distribution of avalanche processes are analyzed. The opportunities of using these models of the epidemic dynamic to analyze the impact of banking system crises. The data of economic crisis in U. S. banking sector 2007-2012 was used for this. Proof of failure and low information obtained results to solve the problems of crisis management. The main task further research in this direction are identified.

Стаття надійшла до редакції 28.02.2013 р.