

УДК 330.46; 519.688

В. В. Комірна,  
 д. е. н., доцент, завідувач кафедри економічної кібернетики,  
 ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет"  
 І. І. Стрельченко,  
 к. е. н., доцент кафедри економічної кібернетики,  
 ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет"

# ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ШВИДКИХ ПРОЦЕСІВ В СЕРЕДИНІ СИСТЕМ ФІНАНСОВИХ ІНСТИТУТІВ

V. Komirna,  
 doctor of Economics, associate Professor, Head of the Chair of Economic Cybernetics  
 State Universities "Ukrainian state chemical-technological University"  
 I. Strelchenko,  
 PhD, Associate Professor, Department of Economic Cybernetics  
 State Universities "Ukrainian state chemical-technological University"

## PROBLEMS AND PROSPECTS OF MODULATING DISTRIBUTION OF FAST PROCESSES INSIDE OF THE FINANCIAL INSTITUTES SYSTEMS

**Проведено аналіз існуючих підходів до моделювання розповсюдження лавиноподібних процесів. На прикладі динаміки економічної кризи у банківському секторі США 2007–2012 рр. розглянуто можливість застосування моделей динаміки епідемій для вивчення наслідків системних криз фінансових інституцій. Доведено недостатність та низьку інформативність отриманих розв'язків для вирішення задач антикризового управління. Визначено основні завдання подальших досліджень у цьому напрямку.**

**The analysis of existing approaches to modeling the distribution of avalanche process. On the example of the economic crisis dynamic in the US banking sector 2007–2012 years. the possibility of the usage of the dynamics of epidemics models was observed to study the effects of systemic crises financial institutions. Proved insufficient and low information content of the derived solutions to meet the challenges of crisis management. Were given the main tasks for further research in this area.**

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

*Key words: crisis, avalanche, mathematical theory of epidemics, model, model, banking system.*

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

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

Дана робота має на меті:

1. Дослідження існуючих підходів до моделювання процесів розповсюдження кризових явищ всередині економічних систем, визначення їх обмежень та можливостей.

2. Вивчення особливостей застосування біолого-математичних моделей динаміки епідемій в термінах економічних систем, їх переваг та недоліків.

3. Визначення основних напрямів та задач подальших досліджень у цьому напрямі.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Більшість існуючих доробків у цій галузі мають на меті попередження кризових процесів, та, відповідно, спрямовані на побудову моделей прогнозування таких

явищ. Проте, як підказує практика, передбачення на стільки стрімких деформаційних змін в економіці поки що залишається справою невдячною. В першу чергу це пов'язано з необхідністю врахування та аналітичної формалізації великої кількості макроекономічних та соціально-психологічних факторів. Практично поза увагою залишаються процеси розповсюдження кризових процесів в середині певних структур та систем економічних агентів таких, наприклад, як фінансові установи. Необхідність та важливість таких досліджень не викликає сумніву, адже негативні показники діяльності чи банкрутство в результаті системної кризи одного з учасників ринку може призвести до краху всієї системи в цілому. Питання швидкості та масштабності поширення таких процесів є життєво важливими для фінансової системи цілої країни. Це питання добробуту її громадян.

Існуючі 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, в межах котрих досліджуються фактори, рушійні сили та механізми розвитку стрімких змін в економіці. У свою чергу їх розділяють 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 (в якості основної причини розглядають 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 "недостовірність" ринкової інформації, коли підприємця 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 ринку), Ольсевича Ю.Я. [6] (розглядає гіпотезу психолого-інституціональних циклів зміни "еліт", що контролюють ієрархічну структуру ринку) та інших.

3. Економіко-математичні. Найбільш значущі розробки і досягнення у сфері ідентифікації та формалізації кризових процесів відносяться до наступних концепцій.

3.1. 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, не зважаючи на незаперечні досягнення у цій сфері, великі сподівання пов'язані із застосуванням цих методів для прогнозування та моделювання кризових явищ поки залишаються не виправданими. В першу чергу це пов'язано з відсутністю побудованих універсальних аналітичних моделей у цій галузі.

3.2. Теорія циклічного розвитку економіки. Доводить, що розвиток економіки 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—25 рр.), середньострокові цикли Жюгляра (7—11 рр.), короткострокові цикли Кітчана (40—59 місяців). Дозволяє з достатньою точністю прогнозувати часові межі коливань економічної кон'юнктури. Також серед беззаперечних здобутків цих досліджень — виділення складових елементів (фаз) у межах кожного окремого циклу.

3.3. Побудова системи соціально-економічних індикаторів-передвісників та відслідковування їх динамки. Даний спосіб має на меті виключно передбачення кризових явищ і є подібним до технічного аналізу фінансових ринків. По суті будь-яка криза супроводжується різкими коливаннями технічних індикаторів. Проте розпізнати випереджаючий сигнал про закінчення зростаючого тренду в економіці є непростою 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 у середині певної системи не є новою. В біології, медицині, фізиці розроблені математичні моделі поширення та передачі специфічних характеристик від одного об'єкта до іншого. Стосовно економічних систем, тут суттєвий вклад у формування даного наукового напрямку належить Данічу В.М. Зокрема в 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 виді 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 сере-

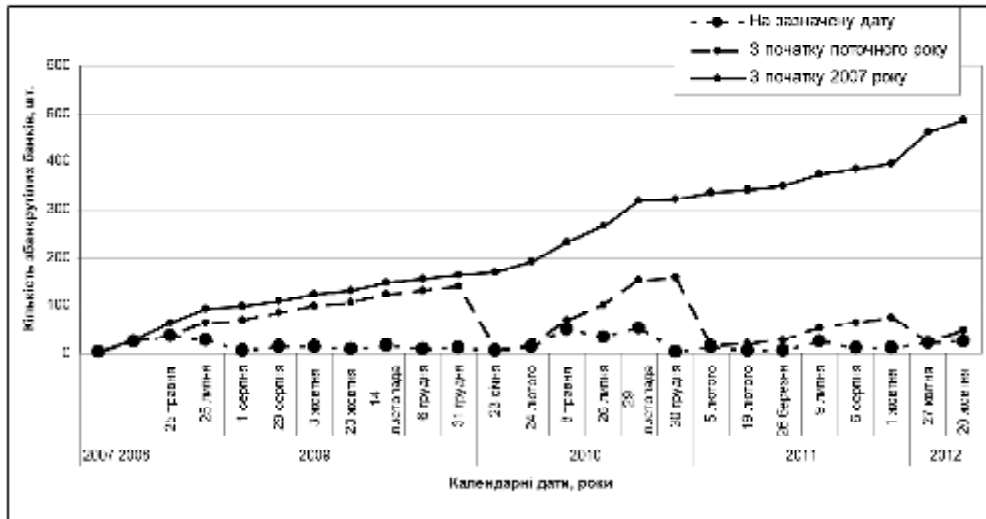


Рис. 1. Послідовність банкрутств банків США протягом 2007—2012 рр.

довищі 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 даній роботі надалі використовуватимемо саме цей термін.

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

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 в медичній сфері моделі динаміки епідемії — моделі (отримала назву за позначеннями її основних компонентів), котра була сформульована в роботах Кермака та Мак-Кедріка [10]. В загальному вигляді вона являє собою систему наступних диференціальних рівнянь:

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

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 індивідуумів; пред-

ставники цієї групи самі не є чутливими до хвороби (тобто повторне зараження у даній 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]:

$$N = S(t) + I(t) + R(t) = const \quad (2).$$

Тоді  $\nu$  — то є інтенсивність імунізації (зменшення кількості заражених),  $\beta$  — інтенсивність зараження (розповсюдження вірусу).

Модель повністю визначається на основі параметрів інтенсивності ( $\nu$ ,  $\beta$ ) та початкових умов в момент часу  $t=0$ . Звичайно припускають, що початкова кількість залишивши 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  $S(0) = N - I_0$ . В найпростішому випадку припускають, що процес зараження розпочався з одного індивідуума, тобто  $I(0) = 1$ .

Дана 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]:

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

де  $\mu$  — рівень народжуваності (смертності),  $\xi$  — інтенсивність втрати пасивного імунітету,

$\sigma$  — інтенсивність переходу від латентного стану до захворювання,

$\gamma$  — 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. Виділити 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 існуючих моделей поширення лавиноподібних процесів для вирішення поставленої задачі.

Перспективним напрямом таких досліджень є використання неоднорідних моделей розповсюдження епідемій, моделей розповсюдження хвиль та рівнянь типу "реакція-дифузія".

## ВИСНОВКИ

Глобалізація та взаємне проникнення економік окремих країн, робить їх надзвичайно вразливими до кризових процесів. Негативні тенденції, що 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 відносять до класу лавиноподібних. У статті проведений аналіз існуючих методів моделювання лавиноподібних процесів та визначені їх недоліки. З метою розробки системи економіко-математичних моделей динаміки розповсюдження кризових процесів у системі фінансових посередників розглянута 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.

Література:

1. Баликов В.З. Общая экономическая теория: уч. пос. / В.З. Баликов. — Новосибирск, 1999. — 678 с.

2. Pareto V. Manuel d'economie 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.

References:

1. Balikoev, V.Z. (1999), Obshhaja ekonomicheskaja teorija [General economic theory], Novosibirsk, Russia.

2. Pareto, V. (1909), Manuel d'economie politique, Paris.

3. Pigou, A. (1943), "The Classical Stationary State", Economic Journal, vol. 53 (212), pp. 343—351.

4. Lucas, R. (1972), "Expectations and the Neutrality of Money", Journal of Economic Theory, vol. 4, pp. 103—124.

5. Muth, J. (1961) "Rational expectations and the theory of price movements", Econometrica, vol. 29, pp. 315—335.

6. Ol'sevich, Ju.Ja. (2011), Fundamental'naja neopredelennost' rynka i koncepcii sovremennogo krizisa [The fundamental uncertainty of the market and the concept of the present crisis], Institut jekonomiki RAN, Moskow, Russia.

7. Shuster, G. (1988), Determinirovannyj haos. Vvedenie [Deterministic chaos. introduction], Mir, Moskow, Russia.

8. Kronover, R. (2006), Fraktaly i haos v dinamicheskikh sistemah [Fractals and chaos in dynamical systems], Tehnosfera, Moskow, Russia.

9. Danich, V.N. (1999), Identifikacija bystryh processov. Metody i modeli [Identification of fast processes. Methods and Models], Art-Biznes-Centr, Moskow, Russia.

10. Kermack, W. and McKendrick, A. (1927), "Contribution to the mathematical theory of epidemics", Proc. Roy. Soc. Ser., vol. 115, pp. 700—721.

11. Hethcote, H. (2000), "The mathematics of infectious diseases", Siam Review, vol. 42, pp. 599—653.

Стаття надійшла до редакції 09.12.2014 р.