

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСГРАНИЧНОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ КРИЗОВИХ ЯВИЩ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСУ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

І. І. Стрельченко

Кандидат економічних наук, доцент,
докторант кафедри економіко-математичного моделювання
Державний вищий навчальний заклад «Київський національний
економічний університет імені Вадима Гетьмана»
проспект Перемоги, 54/1, м. Київ, 03680, Україна
iistr@yandex.ua

У роботі проведено детальний аналіз існуючих теорій щодо виникнення та протікання кризових явищ в країнах з різним рівнем економічного розвитку. Дано визначення об'єкта дослідження. Виділені його характерні особливості та визначені вимоги до математичного інструментарію. У рамках дослідження проведений кореляційний аналіз класифікаційних характеристик для попереднього поділу країн на класи. Обґрунтовано використання нейронних мереж для математичного опису процесів трансграничного розповсюдження кризових явищ. Побудовано узагальнену схему системи моделей трансграничного розповсюдження кризових явищ між країнами з різним рівнем соціально-економічного розвитку на основі обраного математичного апарату. На першому рівні системи для розбиття країн на окремі групи за типами реакції на кризові явища запропоновано здійснювати їх кластеризацію із застосуванням карт Кохонена. Для прогнозування наслідків перенесення криз на другому рівні системи вирішено скористатись нейронною мережею перцептронного типу.

Ключові слова. *Кризові явища, макроекономічний індикатор, класифікація, нейронна мережа, карта Кохонена.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСГРАНИЧНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ КРИЗИСНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

И. И. Стрельченко

Кандидат экономических наук, доцент,
докторант кафедры экономико-математического моделирования
Государственное высшее учебное заведение «Киевский национальный
экономический университет имени Вадима Гетьмана»
проспект Победы, 54/1, г. Киев, 03680, Украина
iistr@yandex.ua

В работе проведен детальный анализ существующих теорий возникновения и протекания кризисных явлений в странах с разным уровнем экономического развития. Дано определение объекта исследования. Выделены его характерные особенности и определены требования к математическому инструментарию. В рамках исследования проведен корреляционный анализ классификационных характеристик для предварительного разделения стран на классы. Обосновано использование нейронных сетей для математического описания процессов трансграничного распространения кризисных явлений. Построена обобщающая схема системы моделей трансграничного распространения кризисных явлений между странами с разным уровнем социально-экономического развития на основе выбранного математического инструментария. На первом уровне системы для разбиения стран на отдельные группы по типам реакции на кризисные явления предложено осуществлять их кластеризацию с применением карт Кохонена. Для прогнозирования последствий переноса кризисов на втором уровне системы решено воспользоваться нейронной сетью персептронного типа.

Ключевые слова. *Финансовый кризис, макроэкономический индикатор, классификация, нейронная сеть, карта Кохонена.*

MODELING OF CRISIS TRANSBOUNDARY CONTAGION BASED ON A SET OF NEURAL NETWORKS

Inna Strelchenko

PhD (Economic Sciences), Docent,
DSc Candidate, Department of Economic and Mathematical Modeling

State Higher Educational Establishment
«Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman»
54/1 Peremogy Avenue, Kyiv, 03680, Ukraine
iistr@yandex.ua

The existing theories of the crisis occurrence and contagion through the countries with different levels of economic development were examined in the work. There's defined the object of study, revealed its characteristics and specified the requirements to the mathematical tools in the article. A correlation analysis of the classification characteristics was carried out in the study. Its results used for the pre-separation of the countries into classes. It was grounded the usage of neural networks for mathematical description of the cross-border contagion processes. Constructed the generalized diagram of models system for description the cross-border contagion between countries with different levels of socio-economic development based on chosen mathematical tools. At the first level of the system for splitting of countries into separate groups by type of response to the crisis phenomena is suggested to carry out their clustering using Kohonen maps. To predict the consequences of crisis transferring is decided to use the neural network of perceptron type at the system's second level.

Keywords. *Crisis, macroeconomic indicators, classification, neural network, Kohonen map.*

JEL Classification: C45, F36, G15, G17

Вступ

З 90-х років двадцятого століття світовою економікою прокотилися кілька хвиль економічних криз, що в різні моменти часу та в різний спосіб охопили всі країни земної кулі. Такою всеосяжністю та швидкістю розповсюдження кризових явищ людство завдячує, у першу чергу, всесвітній мережі Internet і прискореним темпам переходу до електронних грошей.

Характерною особливістю сучасних економічних криз є: наявність країни-джерела, в економіці котрої зароджується та вперше фіксуються системні порушення у функціонуванні одного або кількох секторів господарювання — найчастіше фінансового, та розподілених у часі процесів трансграничного перенесення негативних тенденцій між країнами.

Досвід вивчення наслідків та охоплення останніх світових економічних криз дозволяє припустити, що відгуки економічних систем з різним рівнем розвитку та початкових умов будуть суттєво відрізнятись.

Враховуючи усе це, існує актуальна проблема переосмислення та доповнення існуючої методики оцінки економічної безпеки країни. Зокрема, потрібно врахувати та оцінити наслідки перенесення кризових явищ до національної економіки.

Мета і завдання дослідження

Метою даного дослідження є побудова узагальненої схеми системи моделей трансграничного перенесення кризових явищ між країнами з різним рівнем соціально-економічного розвитку.

Мета дослідження обумовлює необхідність вирішення таких завдань:

- 1) аналіз предметної області та визначення об'єкта дослідження;
- 2) аналіз існуючих підходів до моделювання процесів розповсюдження кризових явищ;
- 3) визначення особливостей, значимих для вибору інструментарію для моделювання;
- 4) обґрунтування вибору математичного інструментарію для опису трансграничного перенесення кризових явищ між країнами з різним рівнем соціально-економічного розвитку;
- 5) вибір набору характеристик для попереднього поділу об'єктів предметної області на класи;
- 6) побудова узагальненої схеми системи моделей трансграничного перенесення кризових явищ між країнами з різним рівнем соціально-економічного розвитку на основі обраного математичного інструментарію.

Виклад основного матеріалу дослідження

Як напрямок дослідження, перенесення кризових явищ між елементами певної замкненої системи не є новим. Задача фор-

мального опису процесів розповсюдження певних властивостей або закономірностей від одного об'єкта до іншого достатньо вивчена в сфері природничих наук: фізика, біологія, медицина. Зокрема, обґрунтовані та побудовані математичні моделі динаміки епідемій, моделі розповсюдження хвиль у різних середовищах, рівняння типу «реакція-дифузія».

В економічій теорії вивчення подібних явищ сфокусоване на визначенні прихованих механізмів запуску різких негативних змін на фінансових ринках і має на меті прогнозування їх наступної появи. На сьогодні лише незначна кількість досліджень зосереджена на вивченні та формальному описі іншої сторони кризових явищ: трансграничному перенесенні значного погіршення у функціонуванні економіки однієї країни до інших країн.

Серед фундаментальних досліджень у цьому напрямку потрібно виділити праці С. Шмуклера та Дж. Франкеля [1], С. Калво та К. Рейнхарт [2], Дж. Сачса, А. Томеля та А. Веласко [3]. Суттєвий внесок у вивчення лавиноподібних процесів в економіці належить В. Данічу [4].

Для окреслення меж об'єкта дослідження розглянемо базові положення основних теоретичних концепцій даного напрямку.

У рамках моделі динаміки епідемії — SIR (Susceptible—Infected—Removed model) Кермана та Мак-Кедрика, процес зараження описується як «розподілене в часі розповсюдження симптомів захворювання серед групи вразливих індивідуумів прямим або непрямим шляхом від джерела інфекції, та поділяється на латентний та заразний періоди» [5]. Відповідно до теорії розповсюдження хвиль, процес перенесення коливальних супроводжується переміщенням у часі певного стану крізь середовище, котре коливається [6].

В. Даніч визначає соціально-економічний лавиноподібний процес як «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» [4].

Враховуючи спільні риси, притаманні явищам перенесення певних закономірностей і властивостей між відокремленими у просторі елементами однієї системи, надалі під об'єктом дослідження, відповідно до мети та поставлених задач, будемо розуміти «процеси трансграничного перенесення кризових явищ між

країнами з різним рівнем економічного розвитку від країни-джерела через доступні канали зараження, що призводять до суттєвого погіршення економічної ситуації у досліджуваній країні».

Процес перенесення кризових явищ схематично представлено на рис. 1. Введемо поняття: латентний період (l) — проміжок часу від початку кризи у країні-джерелі (t_0) до моменту часу, коли зафіксовано початок кризи у досліджуваній країні (t_p), та період відгуку (v) — проміжок часу від моменту t_p до моменту часу, коли зафіксовано скорочення темпів падіння економіки (t_k).

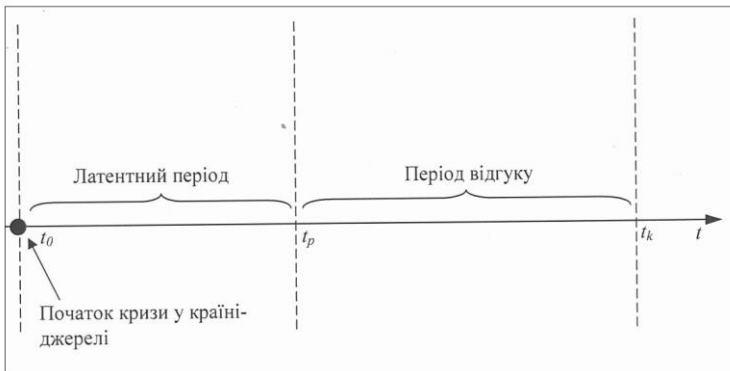


Рис. 1. Схематичне представлення процесу перенесення кризових явищ між країнами в часі

На сьогодні найвідомішими теоретико-методологічними підходами до аналізу та передбачення кризових явищ в економіці та, зокрема, фінансових криз є:

1. Класична теорія циклічних змін економіки: отримала розвиток у роботах Ж. Сісмонді (пояснював виникнення економічних криз тим, що надто велика частка доходу зберігається і дуже незначна його частина витрачається на споживчі товари, в результаті чого порушується рівновага між виробництвом і реалізацією створеного продукту), Дж. Кейнса [7] (головною причиною економічних коливань вважав змінний характер капіталовкладень, серед першопричин недовіри до ринку та готовності до паніки називав «несвійкість ділової психіки значної частини учасників ринку»), Дж. Хікса [8] (за яким економічні коливання обумовлені впливом, котрий інвестиції чинять на зміну обсягу випуску), Н. Кондратьєва [9] (розглядав довгі періоди порушення та від-

новлення економічної рівноваги у тісному взаємозв'язку з процесами амортизації основного капіталу та циклічним характером інвестицій), Й. Шумпетера, С. Кузнеця та ін.

2. Теорія дефіциту платіжного балансу. Вперше модель формалізована в роботах П. Кругмана: [10] він описав, що в умовах фіксованого валютного курсу, головною причиною кризи є фінансування дефіциту бюджету за рахунок нарощування державного боргу. З часом це призводить до критичного скорочення золотовалютних резервів, і як тільки їх рівень сягає граничної позначки, Центральний банк країни більше не в змозі утримувати фіксований курс. Згодом модель Кругмана ускладнювалась, вводились додаткові змінні: недовіра до існуючого валютного режиму, рівень гнучкості цін, імовірність спекулятивних атак, зміна державного боргу, політика держави і т.д.; розглядалися альтернативні режими після відмови від фіксованого курсу [11].

3. Модель оцінки тиску на валютному ринку. Використовується для аналізу та виділення моментів або періодів, коли спекулятивна атака на національну валюту призводить до різкого її знецінення та/або істотного зниження золотовалютних резервів. Для визначення подібних періодів розраховують індекс напруженості валютного ринку (exchange market pressure index — ЕМРІ) як середньозважене значення ступеня зміни обмінного курсу валюти і обсягу золотовалютних резервів [12].

4. Теорія так званих «Self-fulfilling»-криз. Є наймолодшою концепцією у переліку припущень щодо причин виникнення фінансових шоків. Вперше запропонована в роботі М. Обстфельда [13], вона розглядає біхевіористській підхід у поясненні каузальних зв'язків «лавиноподібного» зростання негативних тенденцій в економіці. Сам термін «Self-fulfilling» запозичено з соціології, де він використовується з 1948 року для пояснення дії механізму самонавіювання [14]. Теорія «Self-fulfilling»-криз припускає, що різким негативним тенденціям в економіці передують необгрунтоване зростання негативних очікувань серед учасників ринку. Так, необ'єктивна інформаційна хвиля, що шириться серед інвесторів, викликає відтік капіталу та за короткий проміжок часу призводить до руйнівних наслідків для економіки країни, навіть за відсутності початкових об'єктивних умов їх виникнення.

Відповідно до мети, задач дослідження, а також враховуючи особливості об'єкта дослідження, сформуємо перелік вимог до математичного інструментарію:

1. Для моделювання нерівномірних наслідків трансграничного перенесення фінансових шоків на етапі введення пояснювальних змінних потрібно враховувати диференціацію набору початкових умов, які суттєво впливають на протікання кризових явищ в межах національних економік.

2. Необхідно забезпечити врахування нелінійних зв'язків, що притаманні об'єкту дослідження.

3. З метою проведення в рамках однієї системи моделей процедури класифікації вихідної інформації та прогнозування наслідків перенесення фінансових шоків потрібно забезпечити паралельне використання кількох типів обчислювальних підсистем для реалізації відмінних підходів до обробки вхідного масиву даних.

4. Для зручності експлуатації модель повинна мати здатність до адаптації зі зміною початкових умов і можливість динамічного налаштування параметрів.

5. Практична значущість побудованої моделі напряму залежатиме від можливості економічної інтерпретації отриманих результатів.

Цілком зрозуміло, що наслідки перенесення фінансових шоків, котрі проявляються у падінні валового внутрішнього продукту, вартості національної грошової одиниці або ціни на державні облигації, є різними для різних країн. Тому об'єктивною є задача класифікації досліджуваних країн відповідно до певного набору характеристик.

Для спрощення цього етапу можна спробувати використати вже розроблену систему, що знаходиться на озброєнні МВФ та ООН, охоплює 181 країну-члена організації та поділяє країни за рівнем розвитку ринкової економіки: розвинені країни з ринковою економікою; країни з перехідною економікою; країни, що розвиваються.

Проведемо оцінку можливості використання цієї системи класифікації в рамках даного дослідження. На основі статистичної інформації про перебіг світової кризи 2007—2009 рр. побудуємо поле даних, де місце кожної точки визначатимуть координати x (зміна вартості національної грошової одиниці у відсотках) та y (зміна вартості державних облигацій у пунктах). Позначимо три типи країн з різним рівнем розвитку економіки за допомогою маркерів трьох типів: чорною точкою — країни, що розвиваються; білим ромбом — країни з перехідною економікою; чорним трикутником — розвинуті країни (рис. 2).

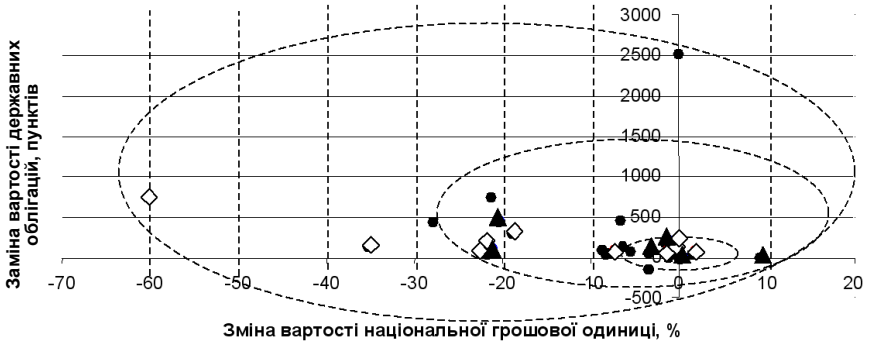


Рис. 2. Точкова діаграма впливу кризи 2007—2009 рр. на економіку різних країн

Діапазон розкиду точок можна схематично поділити на три зони:

- 1) країни, що найменше постраждали від кризи (центральний еліпс);
- 2) країни, в яких зафіксовано значне падіння вартості національної одиниці та/або вартості державних облігацій (середній еліпс);
- 3) група країн, котрі криза вразила найбільше (зовнішній еліпс).

Цікаво, що до перших двох зон потрапили країни кожної з трьох груп за типологією МВФ. Це дає можливість наочно пересвідчитись, що дана система класифікації не є зручною та універсальною для моделювання трансграничного перенесення кризових явищ між країнами з різним рівнем економічного розвитку, та не відповідає задачам дослідження.

Для відбору класифікаційних характеристик використаємо статистичну вибірку економічних показників 37 країн світу. До вибірки увійшли всі три типи країн за класифікацією МВФ:

- 1) група розвинутих країн (Австрія, Італія, Нідерланди, Бельгія, Іспанія, Франція, Германия, Сполучені Штати, Японія, Мексика, Туреччина);
- 2) група країн з перехідною економікою (Україна, Угорщина, Польща, Російська Федерація, Казахстан, Болгарія, Греція, В'єтнам, Колумбія, Малайзія, Філіппіни, Перу, Південна Африка, Китай);
- 3) група країн, що розвиваються (Аргентина, Ямайка, Гана, Шрі-Ланка, Індонезія, Пакистан, Ель Сальвадор, Бразилія, Чилі, Туніс, Еквадор, Єгипет).

Обчислимо коефіцієнти кореляції між кожною класифікаційною ознакою (індекс сприйняття корупції, індекс конкурентоспроможності, індекс глобалізації, індекс економічної свободи, індекс ефективності гнучкості обмінного курсу) та рівнем зміни ВВП, курсу національної грошової одиниці, вартості державних облігацій.

Результати обчислень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ КОРЕЛЯЦІЇ
МІЖ КЛАСИФІКАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ КРАЇН
І ПОКАЗНИКАМИ ОЦІНКИ НАСЛІДКІВ ПЕРЕНЕСЕННЯ КРИЗОВИХ ЯВИЩ, %**

	Класифікаційні характеристики				
	Індекс сприйняття корупції, пунктів	Індекс конкурентоспроможності, пунктів	Індекс глобалізації, пунктів	Індекс економічної свободи, пунктів	Індекс ефективності гнучкості обмінного курсу
Темп зростання ВВП	-0,2436	-0,2378	-0,2764	-0,4253	-0,4522
Темп зростання вартості нац. грош. одиниці	0,3873	0,3875	0,1625	0,238	0,575
Темп зростання вартості держ. облігацій	-0,3613	-0,419	-0,2661	-0,1065	-0,3911

Джерело: власні розрахунки автора

Інформація для розрахунку коефіцієнтів кореляції щодо перших чотирьох індексів міститься на відкритих сайтах — [15—18]. Індекс ефективності гнучкості обмінного курсу (*FLT*) розраховується за формулою [19]:

$$FLT_t = \frac{ME_t}{MR_t} = \frac{\sum_{k=0}^{11} |E_{t-k} - E_{t-k-1}| / E_{t-k-1}}{\sum_{k=0}^{11} |R_{t-k} - R_{t-k-1}| / H_{t-k-1}}, \quad (1)$$

де E_{t-k} — номінальний обмінний курс k місяців до поточного моменту t , R_{t-k} — чисті валютні резерви без урахування золотих резервів у $t-k$ -му місяці, H_{t-k} — обсяг грошової маси у $t-k$ -му місяці.

Фактично індекс FLL_t характеризує співвідношення між абсолютною величиною середньорічного (середнього за останні 12 місяців) значення зміни номінальної ставки валютного курсу по місяцях (ME_t) та абсолютною величиною середньорічного значення зміни валютних резервів по місяцях, нормалізованого на грошову масу у попередньому місяці (MR_t). Значення індексу змінюється в межах від нуля — випадок режиму фіксованого валютного курсу, до нескінченості — режим вільного плавання [19].

На основі результатів кореляційного аналізу робимо припущення про існування взаємозв'язку між обраними класифікаційними характеристиками та показниками, що відображають наслідки розповсюдження кризових явищ між країнами. Зауважимо, що в даному конкретному випадку використання коефіцієнта кореляції Пірсона є досить умовним і не має на меті безпосередньої оцінки щільності зв'язку між змінними. Для підвищення обґрунтованості вибору класифікаційних характеристик у подальшій роботі доцільно додатково провести тестування за Гренджером (Granger causality test). Цей тест використовується для перевірки наявності причинно-наслідкових зв'язків між часовими рядами.

Проте коефіцієнти кореляції отримали невисокі значення, що можна пояснити нелінійністю зв'язків між показниками. Це зайвий раз свідчить про безперспективність побудови лінійних моделей та обумовлює доцільність застосування математичного інструментарію, здатного ефективно виявляти нелінійні закономірності, зокрема нейронні мережі.

Нейронна мережа є математичним інструментарієм, що реалізує ідею обробки інформації за принципом нервової системи. Оптимізована мережа здатна будувати наближення для широкого класу залежностей між вхідними параметрами та результатом [20—22]. Однією з переваг їх використання є відсутність необхідності у суворій математичній специфікації моделі (для адекватного опису об'єкта дослідження, що відноситься до класу слабоформалізованих процесів, дана властивість є особливо цінною). Також нейронні мережі є робастними, тобто стійкими до змін зовнішніх умов і добре працюють з великим обсягом суперечливої та неповної інформації.

Серед різноманіття типів нейронних мереж для задачі класифікації найкраще підходить архітектура, відома як «самоорганізаційна карта Кохонена» [23], що являє собою єдиний шар нейронів, організований у вигляді двомірної матриці. Така організація нейронів дає можливість отримати візуальне відображення бага-

томірних вхідних даних. Вона дозволяє здійснити кластеризацію об'єктів дослідження за нейронами карти та проводити подальший аналіз ваг нейронів і розподіл прикладів за кластерами.

При налаштуванні карти на її входи подаються навчальні приклади. На кожному кроці визначається нейрон, котрий має мінімальний скалярний добуток ваг зв'язків і вхідного вектора. Такий нейрон визначається переможцем у конкурентному змаганні нейронів карти і стає центром при коригуванні ваг як його зв'язків, так і нейронів-сусідів. За правилом Кохонена відбувається навчання нейронів з урахуванням їх відстані від «нейрона-переможця»:

$$w_p(t) = w_p(t-1) + \eta \cdot \Lambda \cdot [x_p(t) - w_p(t-1)], \quad (2)$$

де $w_p(t-1)$, $w_p(t)$ — p -ий параметр нейрона карти Кохонена до та після корекції, відповідно; $x_p(t)$ — p -ий елемент вектора вхідних даних поданих на t -му кроці навчання; η — коефіцієнт швидкості навчання ($0 < \eta < 1$), який змінюється у процесі самоорганізації нейронної мережі (зазвичай початкове значення є ближчим до одиниці та поступово зменшується); Λ — функція сусідства між даним нейроном і нейроном-переможцем, яка визначає величину корегування ваг зв'язків кожного нейрона (для нейрона-переможця функція сусідства дорівнює одиниці та зменшується при віддаленні від нього за лінійним або експоненційним законом [24]).

Для проведення процедури попередньої класифікації країн на основі карти Кохонена будемо використовувати усі п'ять розглянутих характеристик: індекс сприйняття корупції, індекс конкурентоспроможності, індекс глобалізації, індекс економічної свободи, індекс ефективності гнучкості обмінного курсу. Їх урахування при поділі країн на класи дозволить описати характерні особливості та початкові умови, з якими кожна конкретна країна «входить» у латентний період розповсюдження кризи.

Наступним етапом моделювання процесу трансграничного розповсюдження кризових явищ є побудова нейронної мережі для прогнозування глибини ураження економіки країни. Проведений аналіз макроекономічних показників та їх тестування дозволили сформулювати перелік індикаторів розповсюдження негативних або кризових процесів між фінансовими секторами різних країн за типом каналу перенесення (табл. 2) [25].

Таблиця 2

**ПОТЕНЦІЙНІ ІНДИКАТОРИ ТРАНСГРАНИЧНОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ
НЕГАТИВНИХ АБО КРИЗОВИХ ПРОЦЕСІВ
МІЖ ФІНАНСОВИМИ СЕКТОРАМИ РІЗНИХ КРАЇН**

Тип каналу перенесення	Група та назва індикатора	Методика обчислення
Фінансовий	Макроекономічні показники для оцінки економічної безпеки	
	Відношення обсягу офіційних міжнародних резервів до обсягу валового зовнішнього боргу, %	відповідно до методичних рекомендацій профільних міжнародних фінансових організацій та фондів
	Співвідношення грошового агрегату М2 до золотовалютних резервів, %	
	Спред реальної відсоткової ставки всередині країни до аналогічного показника за кордоном, % пунктів	
	Грошовий мультиплікатор М2, %	
	Депозити комерційних банків, скореговані на індекс споживчих цін, % до попереднього періоду	
	Індекс тиску на валютному ринку (ІЕМР)	середньозважена трьох компонент: зміни валютного курсу, зміни номінальної ставки відсотка та обсягів резервів
	Показники, що оцінюють рівень лібералізації та інтеграції фондового ринку	
	Індекс лібералізації фондового ринку	глобальний індекс (IFCG) / інвестиційний індекс (IFCI)
	Індекс міжнародної фінансової інтеграції (IFI), %	(іноземні активи + фінансові зобов'язання країни) / ВВП
	Чисті іноземні активи (NFA)	за методикою міжнародного валютного фонду
	Індекс сприйняття корупції (CPI)	за методикою Transparency International
	Показники, що оцінюють співвідношення між реальним та фінансовим секторами економіки	
	Індекс Тобіна (елітних для країни підприємств, акції котрих входять до складу фондових індексів), %	ринкова вартість активів компанії / балансовий капітал

Закінчення табл. 2

Тип каналу перенесення	Група та назва індикатора	Методика обчислення
Фінансовий	Коефіцієнт монетизації економіки, %	грошовий агрегат М2 (готівка, грошові кошти на рахунках підприємств і внески населення в банках) / ВВП
Торговельний	Експорт товарів та послуг, % до попереднього періоду	відповідно до методичних рекомендацій щодо оцінки рівня економічної безпеки України
	Індекс умов торгівлі (ціновий), %	
	Імпорт товарів та послуг, % до попереднього періоду	
	Частка експорту в загальному ВВП, % до попереднього періоду	обсяг доходів від експорту / ВВП (поточний період)
		обсяг доходів від експорту / ВВП (попередній період)
	Частка доходів від експорту сировинних ресурсів, %	обсяг доходів від експорту сировинних ресурсів / ВВП

Розглянемо систему, що складається з економік N країн ($E = 1, \dots, N$). Кожна економіка характеризується набором макроекономічних індикаторів, що фіксують розповсюдження економічних криз через фінансовий (f) або торговельний (tr) канали ($I_f^E, f = 1, \dots, M; I_{tr}^E, tr = 1, \dots, L$). Відповідно до умов, що притаманні кожній конкретній економіці в момент часу t , вона може бути віднесена до певного класу ($CL = 1, \dots, D$). Наслідки кризи для економіки довільної країни можуть бути оцінені на основі сукупності трьох показників: зміни ВВП, курсу національної грошової одиниці, вартості державних облігацій ($RES_k^E, k = 1, \dots, 3$). Тоді процеси трансграничного розповсюдження кризових явищ можуть бути описані системою моделей на основі нейронних мереж, як представлено на рис. 3.

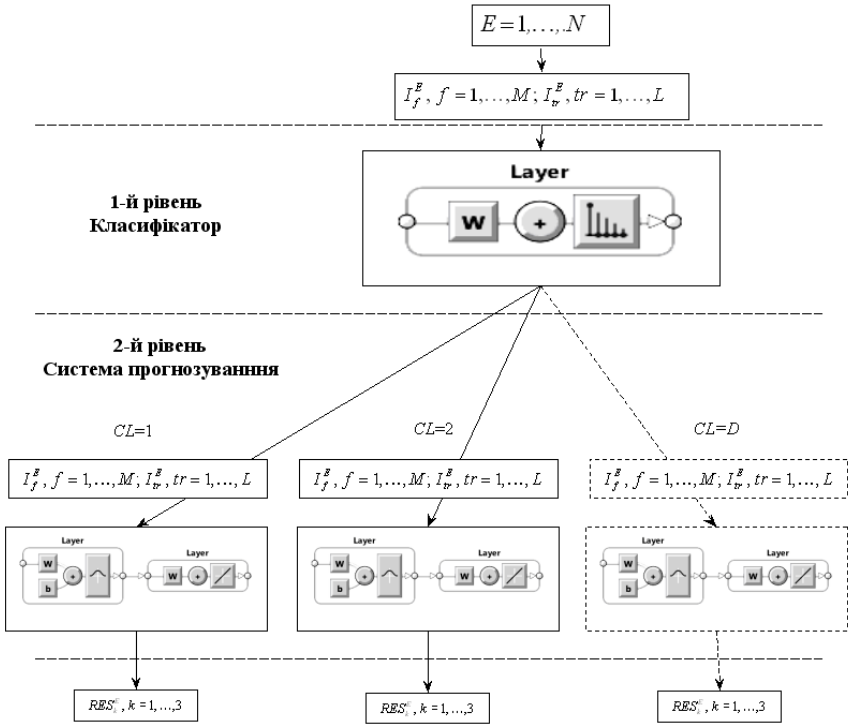


Рис. 3. Узагальнена схема системи моделей трансграничного перенесення кризових явищ між країнами з різним рівнем соціально-економічного розвитку на основі нейронних мереж

Як видно з рис. 3, система складається з двох рівнів. Кожен рівень реалізує одну із задач моделювання — класифікацію та прогнозування. На першому рівні відбувається поділ вхідних об’єктів на класи відповідно до системи класифікаційних характеристик (індекс сприйняття корупції, індекс гнучкості валютного курсу, індекс конкурентоспроможності та ін.). На другому рівні вирішується задача прогнозування основних макропоказників падіння економіки внаслідок розповсюдження кризових явищ.

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямку

У результаті проведеного дослідження визначені вузькі місця у вивченні кризових явищ, підкреслено необхідність аналізу та моделювання процесів трансграничного розповсюдження кризових явищ у країнах з різним рівнем економічного розвитку. Розкрито сутність об'єкта дослідження та сформульовано його визначення. Відповідно до мети, задач та об'єкта дослідження дано теоретичне обґрунтування використання в якості математичного інструментарію апарату нейронних мереж.

З метою первинного поділу сукупності країн на класи проведено кореляційний аналіз первинних класифікаційних характеристик. Зроблено висновки щодо неадекватності поширених підходів встановленим цілям моделювання.

Побудовано узагальнену схему системи моделей трансграничного перенесення кризових явищ між країнами з різним рівнем соціально-економічного розвитку на основі нейронних мереж. На першому рівні системи для розбиття країн на окремі групи за типами реакції на кризові явища запропоновано здійснювати їх кластеризацію із застосуванням карт Кохонена. Для прогнозування наслідків перенесення криз на другому рівні системи вирішено скористатись нейронною мережею перцептронного типу.

Наступними кроками у дослідженні даної проблеми є:

1) розширення кола класифікаційних характеристик за рахунок даних про структуру іноземних інвестицій, зокрема в розрізі тривалості запозичення. Проведення додаткових тестів, наприклад причинно-наслідкового тесту Гренджера;

2) вибір архітектури нейронної мережі для другого рівня системи моделей;

3) оптимізація та випробування системи нейронних мереж для моделювання трансграничного розповсюдження кризових явищ у країнах з різним рівнем розвитку економіки.

Література

1. *Schmukler S.* Country Fund Discounts and the Mexican crisis December 1994: Did Local Residents Turn Pessimistic Before International Investors? / *S. Schmukler, J. Frankel* // *Open Economies Review*. — 1996. — Vol. 5. — P. 511—534.

2. *Calvo G.* Capital Inflows and Real Exchange Rate Appreciation in Latin America / G. Calvo, C. Reinhart // International Monetary Fund. — 1995. — Vol. 40. — P. 108—151.
3. *Sachs J.* Financial Crises in Emerging Markets: The Lessons from 1995 / J. Sachs, A. Tornell, A. Velasco // Brookings Papers on Economic Activity. — 1996. — Vol. 27. — Issue 1. — P. 147—216.
4. *Данич В. Н.* Идентификация быстрых процессов. Методы и модели. — М. : Арт-Бизнес-Центр, 1999. — 229 с.
5. *Kermack W.O.* Contribution to the mathematical theory of epidemics / W. O. Kermack, A. G. McKendrick // Proc. Roy. Soc. Ser. — 1927. — Vol. 115 — P. 700—721.
6. *Горелик Г. С.* Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику. 3-е изд. / Г. С. Горелик. Ред. С. М. Рытов. — М. : Физматлит, 2007. — 656 с.
7. *Keynes J. M.* The General Theory of Employment / J. M. Keynes // The Quarterly Journal of Economics. — 1937. — Vol. 2. — P. 209—223.
8. *Hicks J. R.* Value and Capital: Growth Model / J. R. Hicks // Oxford University Press. — 1959. — Vol. 26 (3). — P. 159—173.
9. *Кондратьев Н. Д.* Проблемы экономической динамики / Н. Д. Кондратьев. — М. : Экономика, 1989. — 526 с.
10. *Krugman P.* A Model of Balance-of-Payments Crises / P. Krugman // Journal of Money, Credit and Banking. — 1979. — Vol. 1. — Is. 3. — P. 311—325.
11. *Garber M.* The Operation and Collapse of Fixed Exchange Rate Regimes / M. Garber, E.O. Svensson // Handbook of International Economics. — 1995. — Vol. 3. — P. 1865—1911.
12. *Girton L.* A Monetary Model of Exchange Market Pressure Applied to Postwar Canadian Experience / L. Girton, D. Roper // American Economic Review — 1977. — Vol. 67. — P. 537—548.
13. *Obstfeld M.* Rational and Self-Fulfilling Balance-of-Payments Crises / M. Obstfeld // American Economic Review. — 1986. — Vol. 76. — P. 72—81.
14. *Merton R.* The Self-Fulfilling Prophecy / R. Merton // Antioch Review. — 1948. — Vol. 8. — 193—210.
15. Статистична інформація за даними Transparency International [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.transparency.org>.
16. Статистична інформація за даними KOF Swiss Economic Institute [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.globalization.kof.ethz.ch>.
17. Статистична інформація за даними The Heritage Foundation [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.heritage.org>.
18. Статистична інформація за даними World Economic Forum [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://www.weforum.org/reports/>.
19. *Poirson H.* How Do Countries Choose Their Exchange Rate Regime? / H. Poirson // IMF Working Paper. — 2001.— No. WP/01/46. — 33 p.

20. Хомич А. Нейросетевое прогнозирование на FOREX / А. Хомич, Л. Жуков // Валютный спекулянт.— 2004. — № 10 (60). — С. 42—45.
21. Остроухов И. Нейросети: работа над ошибками / И. Остроухов, П. Панфилов // Валютный спекулянт.— 2000. — № 8 (10). — С. 37—40.
22. Панфилов П. Нейросетевые прогнозы в техническом анализе / П. Панфилов // Современный трейдинг.— 2001. — № 3. — С. 24—28.
23. Kohonen T. Self-organizing maps. 3d ed. — New-York : Springer, 2001. — 501 p.
24. Остроухов И. Нейронные сети: карты Кохонена / И. Остроухов, П. Панфилов // Валютный спекулянт.— 2000. — № 9. — С. 50—54.
25. Матвійчук А. В. Використання системи випереджальних індикаторів для прогнозування негативних зрушень на фінансовому ринку України / А. В. Матвійчук, І. І. Стрельченко // Фінанси України. — 2015. — № 8. — С. 74—87. — Режим доступу : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Fu_2015_8_7.

References

- Schmukler, S., & Frankel, J. (1996). Country Fund Discounts and the Mexican crisis December 1994: Did Local Residents Turn Pessimistic Before International Investors? *Open Economies Review*, 5, 511—534.
- Calvo, G., & Reinhart, C. (1995). Capital Inflows and Real Exchange Rate Appreciation in Latin America. *International Monetary Fund*, 40, 108—151.
- Sachs, J., Tornell, A., & Velasco, A. (1996). Financial Crises in Emerging Markets: The Lessons from 1995. *Brookings Papers on Economic Activity*, 27(1), 147—216.
- Danich, V. N. (1999). *Identifikacia bystrykh processov. Metody i modeli*. Moskva, Russia: Art-Biznes-Centr [in Russian].
- Kermack, W. O., & McKendrick, A. G. (1927). Contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proc. Roy. Soc. Ser.*, 115, 700—721.
- Gorelik, G. S. (2007). *Kolebaniya I volny. Vvedenie v akustiku, radiofiziku i optiku*. Moskva, Russia: Fizmatlit [in Russian].
- Keynes, J. M. (1937). The General Theory of Employment. *The Quarterly Journal of Economics*, 2, 209—223.
- Hicks, J. R. (1959). Value and Capital: Growth Model. *Oxford University Press*, 26(3), 159—173.
- Kondrat'ev, N. D. (1989). *Problemy ekonomicheskoi dinamiki*. Moskva, Russia: Ekonomika [in Russian].
- Krugman, P. (1979). A Model of Balance-of-Payments Crises. *Journal of Money, Credit and Banking*, 1(3), 311—325.
- Garber, M., & Svensson, E.O. (1995). The Operation and Collapse of Fixed Exchange Rate Regimes. *Handbook of International Economics*, 3, 1865—1911.

12. Girton, L., & Roper, D. A. (1977). Monetary Model of Exchange Market Pressure Applied to Postwar Canadian Experience. *American Economic Review*, 67, 537—548.

13. Obstfeld, M. (1986). Rational and Self-Fulfilling Balance-of-Payments Crises. *American Economic Review*, 76, 72—81.

14. Merton, R. (1948). The Self-Fulfilling Prophecy. *Antioch Review*, 8, 193—210.

15. Transparency International. (2016). *Table of Results: Corruption Perceptions Index 2015*. Retrieved from <http://www.transparency.org/cpi2015#results-table>.

16. KOF Swiss Economic Institute. (2016). *KOF Globalization Index*. Retrieved from <http://www.globalization.kof.ethz.ch>.

17. The Heritage Foundation. (2016). Retrieved from <http://www.heritage.org>.

18. World Economic Forum. (2016). *Reports*. Retrieved from <https://www.weforum.org/reports/>.

19. Poirson, H. (2001, April). How Do Countries Choose Their Exchange Rate Regime? *IMF Working Paper, WP/01/46*, 1—33.

20. Khomich, A., & Zhukov, L. (2004). Neurosetevoe prognozirovanie na FOREX. *Valiutny spekuliant (Currency Speculator)*, 10(60), 42—45 [in Russian].

21. Ostroukhov, I., & Panfilov, P. (2000). Neuroseti: rabota nad oshibkami. *Valiutny spekuliant (Currency Speculator)*, 8(10), 37—40 [in Russian].

22. Panfilov, P. (2001). Neurosetevye prognozy v tekhnicheskoy analize. *Sovremennyye treidiny (Modern trading)*, 3, 24—28 [in Russian].

23. Kohonen, T. (2001). *Self-organizing maps. 3rd ed.* New-York: Springer.

24. Ostroukhov, I., & Panfilov, P. (2000). Neironnyye seti: karty Kohonena. *Valiutny spekuliant (Currency Speculator)*, 9, 50—54 [in Russian].

25. Matviychuk, A. V., & Strelchenko, I. I. (2015). Vykorystannya systemy vyperedzhauchikh indyikatoriv dlya prognozuvannya negatyvnykh zrushen' na finansovomu rynku Ukrainy. *Finansy Ukrainy (Finance of Ukraine)*, 8, 74—87. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Fu_2015_8_7 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 4.10.2016