МОДЕЛЮВАННЯ, ІМІТАЦІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ Й УПРАВЛІННІ

DOI: 10.26565/2311-2379-2022-102-07
УДК 330.342:336.1

В. О. ПОЛЯНСЬКИЙ
аспірант кафедри економічної кібернетики і системного аналізу
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця
пр-т Науки, 9-А, м. Харків, 61165, Україна
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7178-2132, e-mail: vladislav.polya94@gmail.com

МОДЕЛІ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ ДО ЕКЗОГЕННИХ «ШОКІВ»

У статті пропонується підхід до розробки моделей оцінки стійкості макроекономічних систем до впливу екзогенних «шоків» з акцентом на дослідження питань оцінки стійкості діагностичних класів. Актуальність обраної теми дослідження пояснюється тим, що розвиток світової економіки відбувається за умов посилення глобалізаційних процесів. У цьому економічному середовищі формуються як позитивні, і негативні ефекти зазначених процесів. Через неможливість контролювати вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів виникає проблема оцінки стійкості елементів економіки до «шоків». Розгляд тематичних, літературних джерел дозволив підтвердити важливість заявленого дослідження та недостатню опрацьованість питань оцінки стійкості кластерних утворень макрорегіонів. Метою статті є розробка моделей класифікації, які на основі ієрархічних агломеративних методів кластерного аналізу, ітеративних методів кластерного аналізу, нейронних мереж Кохонена, дозволяють провести аналіз стійкості кластерних утворень макроекономічних систем, аналіз міграції елементів із кластера в кластер та на цій основі підвищити якість оцінки стійкості макроекономічних систем до дії екзогенних «шоків». Основні завдання дослідження полягали у розробці моделей класифікації країн за рівнем стійкості до дії екзогенних «шоків» на основі агломераційних методів кластерного аналізу, ітеративних методів кластерного аналізу, нейронних мереж Кохонена; оцінці якості класифікації, обґрунтування вибору підсумкового розбиття; аналізі міграції елементів з кластера в кластер, оцінці структурної динаміки. Отримані результати дозволили зробити висновок про те, що нейронні мережі Кохонена дають можливість отримати більш якісну та економічно інтерпретовану класифікацію з урахуванням моделей розвитку кризи у країнах-елементах, схильних до міграції із кластера в кластер. Аналіз структурної динаміки кластерів у передкризовий, кризовий, посткризовий період показує зниження рівня глобальної стійкості, оскільки спостерігається висока питома вага країн із середнім та низьким рівнем стійкості до впливу екзогенних «шоків», а також міграція великої кількості елементів у нижчий кластер у посткризовий період. Аналіз характеристик кластерів показав, що для країн із низьким рівнем стійкості до екзогенних «шоків» критичною підсистемою залишається підсистема фінансової безпеки, що потребує трансформації механізмів захисту каналів фінансового «зараження». Отримані результати можуть бути використані в системах проактивного антикризового управління.

Ключові слова: **оцінка, стійкість, моделі, макроекономічна система, «шоки», кластерний аналіз.**
JEL Classification: C13, C38, C45, F20.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку економіки характеризується стійкою тенденцією посилення глобалізаційних процесів. Однією з кількісних метрик такої тенденції є індекс глобалізації (KOF Globalisation Index, 2022). Аналіз динаміки індексу глобалізації на рис.1, у якому інтенсивніший колір відображає зростання значень індексу, показує, що країни характеризуються дедалі сильнішою залученістю до процесів глобалізації.

Посилення глобалізації, з одного боку, призводить до низки позитивних ефектів у вигляді зростання швидкості поширення інновацій, мобільності ринків праці та капіталу, підвищення економічної ефективності виробничо-економічних систем, спрощення комунікацій за допомогою універсалізації тощо. А, з іншого, створює додаткові ризики та загрози за рахунок так само швидкого поширення локальних криз внаслідок накопичення дисбалансів в економічних системах, резонансної взаємодії кризових процесів, зростання рівня системного ризику.

© Полянський В.О., 2022

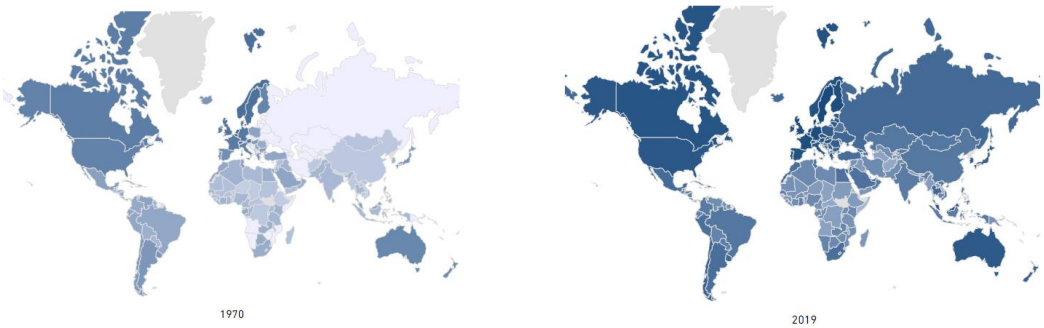


Рис.1. Класифікація країн за індексом глобалізації (1970-2019 гг.)
Fig.1. Classification of countries according to the globalization index (1970-2019)

Джерело: (KOF Globalisation Index, 2022)

Сказане вище актуалізує проблему трансформації механізмів забезпечення безпеки у контексті формування захисної реакції на дію характерних для глобальної економіки «шоків», під якими розуміються надзвичайні подразники (фактори), що створюють умови для різкої зміни умов функціонування економічних систем і призводять до дестабілізації.

Необхідно сказати, що незважаючи на відсутність у науковому середовищі консенсусу щодо поняття «шоку», виділяють такі його ознаки як слабка прогнозованість, непередбаченість, раптовість та масштабність дії (через інтеграцію економічних систем та односпрямовану реакцію). Прикладом впливу «шоку» є фінансова криза 2008 р., що виникла в США, яка переросла у глобальну і вплинула на економічну ситуацію практично у всіх країнах. «Шок» може мати неекономічну природу, що можна спостерігати на прикладі «шоку» пандемії COVID-19, який викликав, внаслідок карантинних обмежень, порушення логістичних ланцюжків у всьому світі, різке зниження ділової активності, панічні очікування інвесторів щодо зниження прибутковості корпорацій, падіння індексів фондових ринків тощо. Теперішній 2022 характеризується все більш вираженою дією енергетичного та продовольчого «шоків», що проявляється в динаміці вартості деривативів (рис.2).

а) нафта (контракт на 1 барель)

б) природний газ (контракт на 10000 мільйонів британських теплових одиниць)

в) пшениця (контракт на 5000 бушелів)

Рис.2. Динаміка вартості ф'ючерса
Fig.2. Futures price dynamics

Джерело: (FINVIZ. Financial visualizations, 2022)

Так, максимальне зростання з початку року в цінах на нафту складає більше 70%, природний газ – 255% та пшеницю – більше 76%. Таке зростання цін на базові ресурси запустило інфляційні процеси, призвело до різкого зниження реального доходу та якості життя населення низки країн, прогнозовано призведе до розвороту трендів у слабко позитивній економічній динаміці постковідного періоду. Як демонстрацію негативного впливу «шоку», що є

імпульсом для формування кризових процесів, на ретроспективних даних можна навести динаміку рівня безробіття США (рис.3).

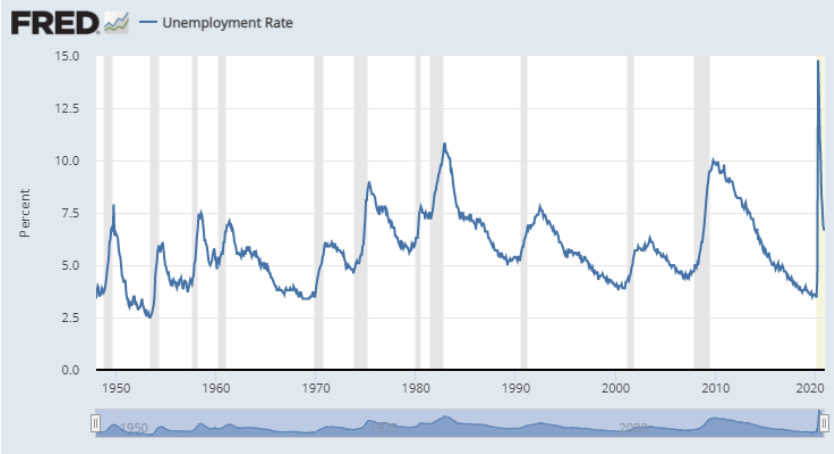


Рис.3. Рівень безробіття США (1948-2021 рр.)
Fig.3. US unemployment rate (1948-2021)

Джерело: (FRED Graph. Unemployment Rate, 2022)

Як видно з рис. 3, ендогенний фінансовий «шок» 2008 р. призвів до зростання рівня безробіття до 10%, екзогенний «шок» COVID-19 - до 15%.

Слід зазначити, що просторові реакції на дію «шоків» є диференційованими та розробка моделей оцінки стійкості макроекономічних систем до екзогенних «шоків» дозволить проаналізувати швидкість «зараження», глибину рецесії та швидкість відновлення економіки. Такі оцінки можуть бути інструментом прийняття рішень у системах проактивного антикризового управління, системах управління безпекою для формування адекватних резервів фінансово-економічної стабілізації та вибору «еталонної» моделі механізму забезпечення безпеки.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженню оцінки стійкості макроекономічних систем до впливу екзогенних «шоків» присвячена велика кількість наукових праць. Так автори Selmi (Selmi, 2022), Janus (Janus, 2022) і Zarikas (Zarikas et al., 2020) сконцентрували розгляд стійкості через розгляд «шоків», які пов'язані з COVID-19. На думку Alexeev (Alexeev & Chih, 2021), Bozhko (Bozhko, 2018), Faryna (Faryna & Simola, 2021) розгляд питань життєдіяльності економіки залежить в більшій мірі від регіональних особливостей, із розглядами сценаріїв розвитку національних економік. Vinas (Vinas, 2021) та Zhang (Zhang & Dai, 2020) оцінюють як банківська система та показники інфляції можуть реагувати на вплив «шоків». Chen (Chen et al., 2021), Rojas (Rojas & Dias, 2020) і Mumtaz (Mumtaz & Theodoridis, 2020) перевіряли гіпотези про наявність двосторонніх причинно-наслідкових зв'язків «шоків» та параметрів ризику, зокрема, системного ризику, досліджували динамічні ефекти монетарної політики держав. У роботі Стрельченко І.І. (Стрельченко, 2020) реалізовано моделювання розповсюдження «шоків» та криз на фінансових ринках, де автором запропоновано підхід до визначення глибини кризи. Автор втілила нейронні мережі та кластерний аналіз для пошуку рівнів реакції економіки на зовнішні «шоки». У праці Харламової Г.О. (Харламова, 2020) розглянуто концепт безпеки та стійкості макроекономічної системи через призму складових елементів підсистем фінансового характеру. Доволі плідно тематикою дослідження стійкості макроекономічних систем займалась Гур'янова Л.С. Зокрема у роботі (Гур'янова & Кучук, 2021) автори оцінили наслідки «шоку» COVID-19 для української економіки, врахувавши оцінку відновлення ділової активності, прогнозу глибини рецесії та ефективності карантинних заходів. Раніше у (Гурьянова & Прокопович, 2013) та (Гурьянова & Непомнящий, 2013) автори розглянули можливість оцінки стійкості макроекономічних систем через оцінку просторових ефектів

«зараження», а також задались питаннями визначення діагностичних показників фінансової безпеки як первісного елементу стійкості макроекономічних систем.

Зазначаючи безперечну ефективність запропонованих вище авторами підходів, слід зазначити, що вони сконцентровані переважно на дослідженні наступних аспектів: дослідженні «шоків» певних типів, наприклад, «шоку» COVID-19, фінансового «шоку» та реакції банківської системи; формуванні нових передиктивних систем з оцінки глибини кризи; дослідженні особливостей реакції на «шоки» країн, що формують різні групи, зокрема, групу «розвинених країн» і групу країн, що «розвиваються». Недостатньо опрацьованими залишаються питання оцінки стійкості кластерних утворень макроекономічних систем (макрорегіонів, країн), що відображають рівень їх чутливості до впливу екзогенних «шоків», недостатньо досліджено питання кластерної міграції елементів. Ці аспекти аналізуються у поданій роботі.

Мета та завдання. Метою роботи є розробка моделей класифікації, які на основі ієрархічних агломеративних методів кластерного аналізу, ітеративних методів кластерного аналізу, нейронних мереж Кохонена, дозволяють провести аналіз стійкості кластерних утворень макроекономічних систем, аналіз міграції елементів із кластера в кластер та на цій основі підвищити якість оцінки стійкості макроекономічних систем до дії екзогенних «шоків».

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:

- обґрунтовано інформаційну базу дослідження;
- розроблено моделі класифікації країн за рівнем стійкості до дії екзогенних «шоків» на основі агломеративних методів кластерного аналізу, ітеративних методів кластерного аналізу, нейронних мереж Кохонена;
- здійснено оцінку якості класифікації, обґрунтовано вибір підсумкового розбиття;
- проведено аналіз міграції елементів між кластерами, проведено оцінку структурної динаміки.

Основні результати дослідження. Необхідно сказати, що серед каналів розповсюдження «шоків» у літературних джерелах особлива увага звертається на два ключові: торговельний та фінансовий (Стрельченко, 2020). Перший полягає у дослідженні дисбалансів торгових балансів через врахування сальдо торговельного балансу, експортно-імпортних операцій та цінової політики на експортно-імпортні товари. Інший канал поширення включає дисбаланси на валютних, фондових, банківських, боргових ринках, що передаються через уповільнення та прискорення міжнародного чи локального руху грошових коштів. Через високу швидкість «зараження» більшою мірою досліджено моделі «зараження» через фінансовий канал, що дозволяють прогнозувати глибину валютного, банківського та інших криз та проектувати ефективні механізми макропруденційного регулювання. У меншій мірі існуючі наукові розробки торкаються дослідження торговельного каналу, що призводить до спаду в реальному секторі економіки, зростання рівня безробіття, формує фактори, що дестабілізують фінансову сферу. Тому структура інформаційного простору ознак оцінки стійкості макроекономічних систем у цьому дослідженні включає такі групи елементів:

- показники стійкості за стартовими умовами розвитку економіки (на основі рівня економічного розвитку та його похідних величин);
- показники зовнішньоекономічного сектору (представлені торговельним каналом та включає елементи експортно-імпортних операцій);
- показники стійкості за загальноекономічними критеріями реагування на економічні зміни (представлені індикаторами реального та фінансового сектору економіки).

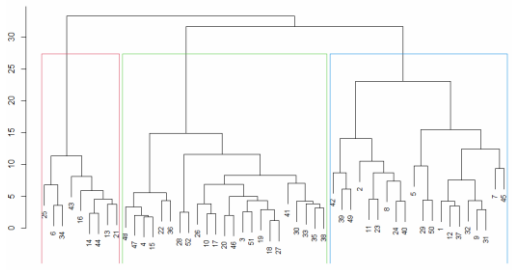
Таким чином, до складу інформаційного простору ознак увійшли такі індикатори: ВВП на душу населення та темп росту ВВП; показники відношення імпорту до ВВП, експорту до ВВП, загального імпорту та експорту до ВВП; показники інфляції та безробіття.

Оцінка впливу екзогенних «шоків» здійснювалась для трьох структурно різних періодів: перший – докризовий (2001-2007 рр.), другий – кризовий (2008-2011 рр.) і третій – посткризовий (2012-2020 рр.).

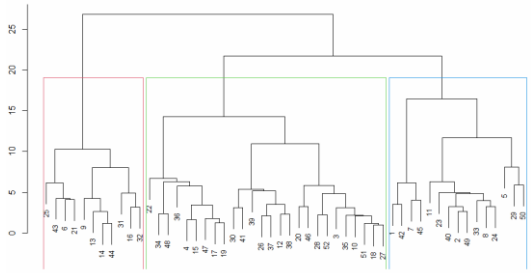
Вибір вхідних макроекономічних систем обмежено вибіркою 52 країн, орієнтуючись на стартову класифікацію країн Міжнародним валютним фондом через поділ держав із розвиненою економікою, та країн, що розвиваються; враховано країни із Європи та країни-члени G-20, Україну; не використовуються дані по країнах із нещодавно отриманим статусом незалежності, з офшорною характеристикою або закритістю економіки (IMF, 2022).

Обробку даних та побудову моделей оцінки стійкості реалізовано із використанням мови статистичного програмування R (побудова кластерного аналізу) та Deductor Studio (створення нейронних мереж/самоорганізаційних карт).

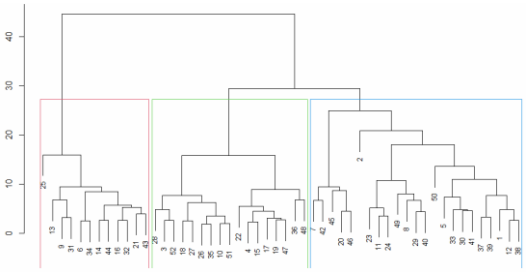
Результати побудови моделей класифікації на основі ієрархічних агломеративних методів кластерного аналізу (Климчук, 2006) наведені на рис.4.



2001-2007 рр.



2008-2011 рр.



2012-2020 рр.

Рис.4. Дендрограма класифікації на основі ієрархічних агломеративних методів кластерного аналізу

Fig.4. Dendrogram of classification based on hierarchical agglomerative methods of cluster analysis

Джерело: розраховано автором

Згідно із результатами побудови (рис.4) у розглянутих випадках найбільш релевантним є поділ макроекономічних систем на три кластери. Їх умовна характеристика може полягати у визначенні груп із низьким (Н), середнім (С) і високим (В) рівнем стійкості до екзогенних «шоків».

Результати побудови моделей класифікації на основі ітеративних методів кластерного аналізу (K-means) наведено на рис.5.

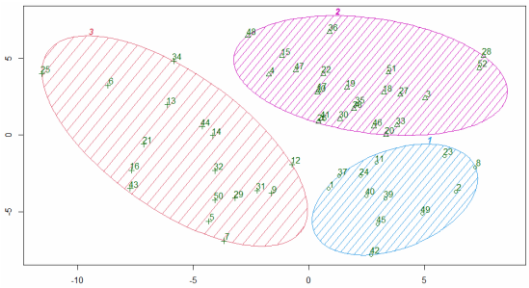
По отриманим результатам (рис.5) стає очевидним, що між групами присутня міграція. При перевірці результатів у рамках застосування ієрархічного методу та методу K-means визначено, що розбиття країн на групи є на 100% однаковим, що свідчить про абсолютну збіжність результатів по двом методам.

Результати класифікації на основі самоорганізаційних карт Кохонена (Лекция 12: Нейронные сети, 2022) наведено на рис.6.

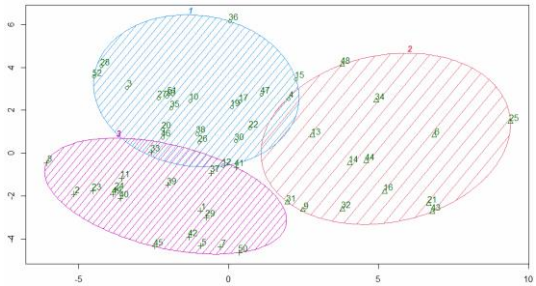
При порівняльному аналізі з уже побудованими методами виникають певні суперечності між результатами попередніх кластеризацій. У наступній таблиці 1 вказані ті країни та періоди часу, де оцінка для реалізованих методів не співпадає.

Враховуючи те, що Португалія та Іспанія відносяться до групи країн з W-подібною моделлю кризи, а Греція – U-подібною моделлю (табл.2), можна зробити висновок про те, що нейронні мережі Кохонена дозволили отримати більш коректну та економічно інтерпретовану класифікацію.

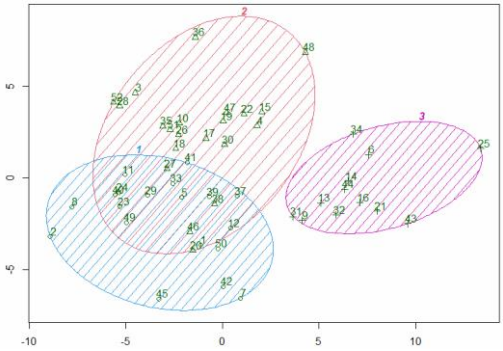
Вищу якість моделі класифікації на основі нейронної мережі Кохонена показує і такий функціонал якості класифікації як сумарна внутрішньогрупова дисперсія (табл.3).



2001-2007 pp.



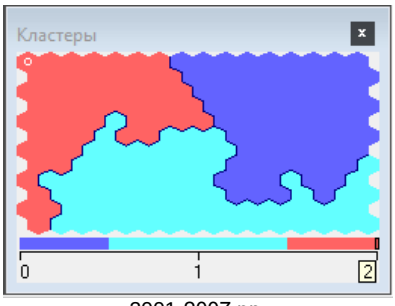
2008-2011 pp.



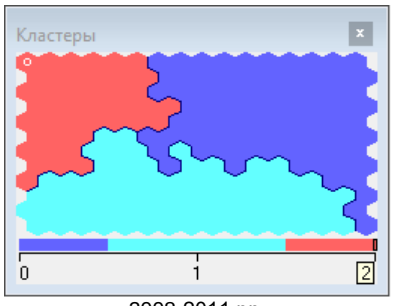
2012-2020 pp.

Рис.5. Результати класифікації на основі ітеративних методів кластерного аналізу
Fig.5. Results of classification based on iterative methods of cluster analysis

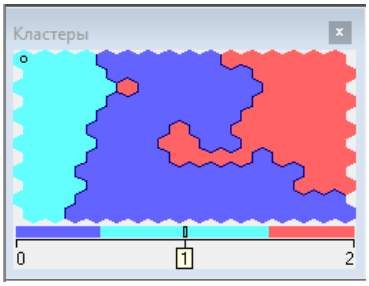
Джерело: розраховано автором



2001-2007 pp.



2008-2011 pp.



2012-2020 pp.

Рис.6. Результати класифікації на основі нейронних мереж Кохонена
Fig.6. Classification results based on Kohonen neural networks

Джерело: розраховано автором

Таблиця 1 – **Відмінності у результатах ієрархічного методу/K-means та самоорганізаційних карт Кохонена**
Table 1 – **Differences in the results of the hierarchical method/K-means and Kohonen self-organizing maps**

Країна	Ієрархічний/ K-means 2001-2007 рр.	Карти Кохонена 2001-2007 рр.
Greece	В	Н
Portugal	В	Н
Spain	В	Н

Джерело: розраховано автором

Таблиця 2 – **Темпи роста ВВП (фрагмент)**
Table 2 – **GDP growth rates (fragment)**

Країна/Рік	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Greece	1,118	1,029758	1,056458	0,987215	0,928476	0,926542	0,962006	1,024713
Portugal	1,08	1,044	1,039	0,9939	1,0308	0,9797	0,9836	1,0508
Spain	1,113	1,076	1,042	0,974	0,9918	1,0085	0,996	1,019

Джерело: розраховано автором на основі International Monetary Fund

Таблиця 3 – **Розраховане значення функціоналу якості кластеризацій**
Table 3 – **Calculated value of the clustering quality functional**

Ієрархічний/ K-means 2001-2007 рр.	Карти Кохонена 2001-2007 рр.
95,5	92

Джерело: розраховано автором

Аналогічно здійснено класифікацію за даними кризового (2008-2011 р.) та постризового періоду (2012-2020 рр.). Результати класифікації наведено у таблиці 4.

Аналізуючи дані таблиці 4, можна зробити висновок про зниження рівня глобальної стійкості, що підтверджується високою питомою вагою макроекономічних систем з низьким та середнім рівнем стійкості до впливу екзогенних «шоків» та переходом великої кількості країн у нижчий кластер у посткризовий період. Графік середніх кластерів наведено на рис.7.

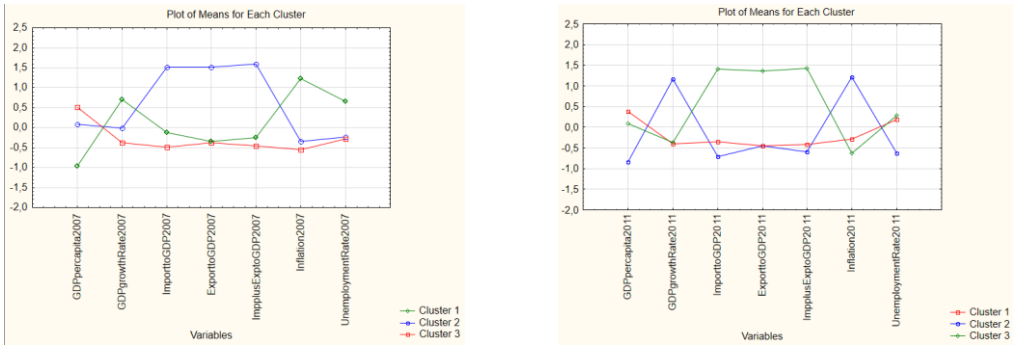
Дані рис. 7 говорять про те, що в країнах з високим та середнім рівнем стійкості до впливу екзогенних «шоків» в умовах передкризового розвитку ефективно забезпечувалася макроекономічна стабільність, що відображається у низьких рівнях інфляції та безробіття. Країни із середнім рівнем стійкості мають високу питому вагу зовнішньоекономічного сектора, проте механізми блокування фінансового каналу «зараження» дозволяють забезпечити макроекономічну стабільність у кризові періоди розвитку. У той самий час для країн цих 2-х кластерів у періоди кризового розвитку спостерігається істотне уповільнення темпів економічного зростання і високий рівень безробіття внаслідок негативних ефектів у реальному секторі економіки. Для країн із високим рівнем чутливості до екзогенних «шоків» характерні високі рівні інфляції та безробіття, відсутність ефективного захисту від фінансових каналів «зараження». Рівень інфляції у цій групі країн є найвищим. Водночас у період кризового розвитку ці країни характеризуються найвищими темпами економічного зростання та низьким рівнем безробіття. Зокрема, економіка України в докризовий період відповідала середній оцінці стійкості, проте кризовий період показав неспроможність макроекономічної системи чинити опір у тому числі зовнішнім факторам кризи, що призвело до зниження рейтингової оцінки стійкості до екзогенних (фінансових, торговельних) «шоків».

Таблиця 4 – **Аналіз міграції елементів із кластера в кластер**
Table 4 – **Analysis of elements' migration from cluster to cluster**

Країна	Умовне позначення кластера, передкризовий період (2001-2007)	Умовне позначення кластера, кризовий період (2008-2011)	Умовне позначення кластера, посткризовий період (2012-2020)	Країна	Умовне позначення кластера, передкризовий період (2001-2007)	Умовне позначення кластера, кризовий період (2008-2011)	Умовне позначення кластера, посткризовий період (2012-2020)
1	2	3	4	5	6	7	8
Albania	H	H	H	Italy	B	B	B
Argentina	H	H	H	Japan	B	B	B
Australia	B	B	B	*Kazakhstan*	***C***	***H***	***H***
Austria	B	B	B	South Korea	B	B	B
Azerbaijan	***C****	***H***	***H***	Latvia	C	C	C
Belgium	C	C	C	Lithuania	C	C	C
Bosnia and Herzegovina	***C***	***H***	***H***	*Mexico*	***B***	***H***	***H***
Brazil	H	H	H	Netherlands	C	C	C
Bulgaria	C	C	C	New Zealand	B	B	B
Canada	B	B	B	Norway	B	B	B
China	H	H	H	Poland	H	H	H
Croatia	***C***	***B***	***H***	*Portugal*	***H***	***B***	***H***
Cyprus	C	C	C	Romania	H	H	H
Czech Republic	C	C	C	Russia	H	H	H
Denmark	B	B	B	*Saudi Arabia*	***B***	***H***	***B***
Estonia	C	C	C	Serbia	H	H	H
Finland	B	B	B	Slovak Republic	C	C	C
France	B	B	B	Slovenia	C	C	C
Germany	B	B	B	South Africa	H	H	H
Greece	***H***	***B***	***H***	*Spain*	***H***	***B***	***H***
Hungary	C	C	C	Sweden	B	B	B
Iceland	B	B	B	Switzerland	***B***	***C***	***B***
India	H	H	H	Turkey	H	H	H
Indonesia	H	H	H	*Ukraine*	***C***	***H***	***H***
Ireland	C	C	C	United Kingdom	B	B	B
Israel	B	B	B	United States	B	B	B

** курсивом виділено країни, за якими спостерігається міграція з кластера до кластера*

Джерело: розраховано автором



2001-2007 рр. 2008-2011 рр.

Рис.7. Графік середніх
Fig.7. Graph of means

Джерело: розраховано автором

Висновки. Проведені у роботі дослідження дозволяють зробити такі висновки:

- розроблено моделі класифікації макроекономічних систем за рівнем стійкості до впливу екзогенних «шоків» на основі методів ієрархічного алгомеративного, ітеративного кластерного аналізу, нейронних мереж Кохонена;
- порівняльний аналіз стійкості кластерних утворень та оцінка якості класифікації дозволили зробити висновок, що нейронні мережі Кохонена дали більш якісну та економічно інтерпретовану класифікацію з урахуванням моделей розвитку кризи у країнах-елементів, схильних до міграції із кластера в кластер;
- аналіз структурної динаміки кластерів у передкризовий, кризовий, посткризовий період дозволив зробити висновок про зниження рівня глобальної стійкості, оскільки спостерігається висока питома вага країн із середнім та низьким рівнем стійкості до впливу екзогенних «шоків», а також міграція великої кількості елементів у нижчий кластер у посткризовий період;
- аналіз характеристик кластерів показує, що для країн з низьким рівнем стійкості до екзогенних «шоків» критичною підсистемою залишається підсистема фінансової безпеки, що потребує трансформації механізмів захисту каналів фінансового «зараження».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. KOF Globalisation Index: веб-сайт. 2022. URL: https://kof.ethz.ch.
2. FINVIZ. Financial visualizations: веб-сайт. 2022. URL: https://finviz.com.
3. FRED Graph. Unemployment Rate: веб-сайт. 2022 URL: https://fred.stlouisfed.org/series/UNRAT.
4. Selmi R. et al. The dual shocks of the COVID-19 and the oil price collapse: A spark or a setback for the circular economy? *Energy Economics*. 2022. Vol. 109. P. 105913. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105913.
5. Janus J. The COVID-19 shock and long-term interest rates in emerging market economies. *Finance Research Letters*. 2021. P. 101976. DOI: https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.101976.
6. Zarikas V. et al. Clustering analysis of countries using the COVID-19 cases dataset. *Data in Brief*. 2020. Vol. 31. P. 105787. URL: https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105787.
7. Alexeev M., Chih Y.-Y. Energy price shocks and economic growth in the US: A state-level analysis. *Energy Economics*. 2021. Vol. 98. P. 105242. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105242.
8. Bozhko L. Development scenarios for the interregional economic interaction in the context of economy clustering in the Republic of Kazakhstan. *Energy Procedia*. 2018. Vol. 147. P. 397-401. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.109.
9. Faryna O., Simola H. The transmission of international shocks to CIS economies: A global VAR approach. *Economic Systems*. 2021. Vol. 45, no. 2. P. 100769. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2020.100769.
10. Vinas F. How financial shocks transmit to the real economy? Banking business models and firm size. *Journal of Banking & Finance*. 2021. Vol. 123. P. 106009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2020.106009.
11. Zhang B., Dai W. Trend inflation and macroeconomic stability in a small open economy. *Economic Modelling*. 2020. Vol. 91. P. 769-778. DOI: https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.10.029.
12. Chen G., Liu Y., Zhang Y. Systemic risk measures and distribution forecasting of macroeconomic shocks. *International Review of Economics & Finance*. 2021. Vol. 75. P. 178-196. DOI: https://doi.org/10.1016/j.iref.2021.04.019.
13. Rojas H., Dias D. Transmission of macroeconomic shocks to risk parameters: Their uses in stress testing. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2020. P. 125571. DOI: https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125571.

14. Mumtaz H., Theodoridis K. Dynamic effects of monetary policy shocks on macroeconomic volatility. *Journal of Monetary Economics*. 2020. Vol. 114. P. 262-282. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2019.03.011.

15. Стрельченко І.І. Математичне моделювання процесів транскордонного розповсюдження кризових явищ на фінансових ринках : дис. … д-ра екон. наук : 08.00.11. Київ, 2020. 504 с.

16. Харламова Г.О. Економіко-математичне моделювання та прогнозування соціально-економічних систем національної безпеки України: дис. … д-ра екон. наук : 08.00.11. Київ, 2020. 660 с.

17. Гур'янова Л. С., Кучук А. О. Моделі оцінки соціально-економічних наслідків шоку, індукованого COVID-19. *Актуальні питання діяльності суб'єктів господарювання в умовах пандемії COVID-19.* 2021. С. 243-249.

18. Гурьянова Л. С., Прокопович С. В. Модели оценки влияния межрегионального взаимодействия на процессы конвергенции развития территорий. *Бизнес Информ.* 2013. №1. С. 62-67.

19. Гурьянова Л. С., Непомнящий В. В. Методы выбора диагностических показателей финансовой безопасности . *Бизнес Информ.* 2013. №4. С. 377-381.

20. International Monetary Fund (IMF): веб-сайт. 2022. URL: https://www.imf.org/en/Home.

21. Климчук В. О. Кластерний аналіз: використання у психологічних дослідженнях. *Практична психологія та соціальна робота.* 2006. №4. С. 30-36.

22. Лекция 12: Нейронные сети. Самоорганизующиеся карты Кохонена. *Интуит.* 2022. URL: http://www.intuit.ru/studies/courses/6/6/lecture/180.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2022
Стаття рекомендована до друку 18.04.2022

REFERENCES

1. KOF Globalisation Index. (2022). Retrieved from https://kof.ethz.ch.

2. FINVIZ. Financial visualizations. (2022). Retrieved from https://finviz.com.

3. FRED Graph. Unemployment Rate. (2022). Retrieved from https://fred.stlouisfed.org/series/UNRATE.

4. Selmi, R., Hammoudeh, S., Kasmaoui, K., Sousa, R. M., & Errami, Y. (2022). The dual shocks of the COVID-19 and the oil price collapse: A spark or a setback for the circular economy? *Energy Economics*, *109*, 105913. doi: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105913.

5. Janus, J. (2021). The COVID-19 shock and long-term interest rates in emerging market economies. *Finance Research Letters, 43,* 101976. doi: https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.101976.

6. Zarikas, V., Poulopoulos, S. G., Gareiou, Z., & Zervas, E. (2020). Clustering analysis of countries using the COVID-19 cases dataset. *Data in Brief*, *31*, 105787. doi: https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105787.

7. Alexeev, M., & Chih, Y. Y. (2021). Energy price shocks and economic growth in the US: A state-level analysis. *Energy Economics*, 98, 105242. doi: https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105242.

8. Bozhko, L. (2018). Development scenarios for the interregional economic interaction in the context of economy clustering in the Republic of Kazakhstan. *Energy Procedia*, 147, 397-401. doi: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.109.

9. Faryna, O., & Simola, H. (2021). The transmission of international shocks to CIS economies: A global VAR approach. *Economic Systems*, 45(2), 100769. doi: https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2020.100769.

10. Vinas, F. (2021). How financial shocks transmit to the real economy? Banking business models and firm size. *Journal of Banking & Finance*, 123, 106009. doi: https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2020.106009.

11. Zhang, B., & Dai, W. (2020). Trend inflation and macroeconomic stability in a small open economy. *Economic Modelling*, *91*, 769-778. doi: https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.10.029.

12. Chen, G., Liu, Y., & Zhang, Y. (2021). Systemic risk measures and distribution forecasting of macroeconomic shocks. *International Review of Economics & Finance*, *75*, 178-196. doi: https://doi.org/10.1016/j.iref.2021.04.019.

13. Rojas, H., & Dias, D. (2021). Transfer of macroeconomic shocks in stress tests modeling. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *572*, 125571. doi: https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125571.

14. Mumtaz, H., & Theodoridis, K. (2020). Dynamic effects of monetary policy shocks on macroeconomic volatility. Journal of Monetary Economics, 114, 262-282. doi: https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2019.03.011.

15. Strelchenko, I. I. (2020). *Mathematical modeling of processes of cross-border spread of crisis phenomena in financial markets*. (Unpublished doctoral dissertation.) Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Kyiv, Ukraine. (in Ukrainian)

16. Kharlamova, G.O. (2020). *Economic and mathematical modeling and forecasting of socio-economic systems of national security of Ukraine.*(Unpublished doctoral dissertation.) Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine. (in Ukrainian)

17. Guryanova, L., Kuchuk, A. (2021). Models for assessing the socio-economic consequences of shock induced by COVID-19. *Current issues of business entities in the context of the COVID-19 pandemic*, *243-249.* (in Ukrainian)

18. Guryanova, L., Prokopovich, S. (2013). Models for assessing the impact of interregional interaction on the processes of convergence of territorial development. *Business Inform, 1, 62-67.* (in Russian)

19. Guryanova, L., Nepomnyashchiy, V. (2013). Methods of choosing diagnostic indicators of financial security. *Business Inform,* 4, 377-381. (in Russian)

20. International Monetary Fund (IMF). (2022). Retrieved from https://www.imf.org/en/Home.

21. Klimchuk, V. (2006) Cluster analysis: use in psychological research. *Practical Psychology and Social Work*, *4.* 30-36. (in Ukrainian)

22. Lecture 12: Neural networks. Kohonen's self-organizing maps. *Intuition*.(2022) Retrieved from http://www.intuit.ru/studies/courses/6/6/lecture/180. (in Russian)

The article was received by the editors 20.03.2022
The article is recommended for printing 18.04.2022

V. POLIANSKYI, PhD student of the Department of Economic Cybernetics and Systems Analysis, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, 9-A Nauki Av., Kharkiv, 61165, Ukraine
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7178-2132, e-mail: vladislav.polya94@gmail.com

MODELS FOR EVALUATION OF RESISTANCE OF MACROECONOMIC SYSTEMS TO EXOGENIC "SHOCKS"

The article proposes an approach to the development of models for assessing the resilience of macroeconomic systems to the effects of exogenous shocks with an emphasis on the study of assessing the resilience of diagnostic classes. The relevance of the chosen research topic is explained by the fact that the development of the world economy takes place in the context of increasing globalization processes. In this economic environment, both positive and negative effects of these processes are formed. Due to the inability to control the impact of external destabilizing factors, there is a problem of assessing the resilience of the economy to "shocks" elements. Consideration of thematic, literature sources allowed to confirm the importance of the stated research and insufficient elaboration of the issues of assessing the stability of cluster formations. The aim

of the article is to develop classification models that, based on hierarchical agglomerative methods of cluster analysis, iterative methods of cluster analysis, Kohonen neural networks, allow to analyze the stability of macroeconomic systems cluster formations, analyze the migration of elements from cluster to cluster systems to the action of exogenous shocks. The main objectives of the study were to develop models for classifying countries according to the level of resistance to exogenous "shocks" based on agglomeration methods of cluster analysis, iterative methods of cluster analysis, Kohonen neural networks; assessment of the classification quality, justification of the choice of the final breakdown; analysis of migration from cluster to cluster, assessment of structural dynamics. The obtained results allowed us to conclude that Kohonen neural networks provide an opportunity to obtain a better and more economically interpreted classification taking into account the models of crisis development in the element countries prone to migration from cluster to cluster. Analysis of the structural dynamics of clusters in the pre-crisis, crisis, post-crisis period shows a decrease in global stability, as there is a high proportion of countries with medium and low resistance to exogenous "shocks", as well as migration of many elements to the lower cluster in the post-crisis period. The analysis of cluster characteristics showed that for countries with a low level of resistance to exogenous "shocks" the critical subsystem is the financial security subsystem, which requires the transformation of protection mechanisms for financial "contagion". The obtained results can be used in systems of proactive crisis management.

Key words: **assessment, stability, models, macroeconomic system, «shocks», cluster analysis.**
JEL Classification: C13, C38, C45, F20.

Як цитувати: Полянський В.О. (2022). Моделі оцінки стійкості макроекономічних систем до екзогенних «шоків». *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Економічна»*, (102), 57-68. https://doi.org/10.26565/2311-2379-2022-102-07.

In cites: Polianskyi V. (2022). Models for evaluation of resistance of macroeconomic systems to exogenic "shocks". *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University Economic Series*, (102), 57-68. https://doi.org/10.26565/2311-2379-2022-102-07. (in Ukrainian)