



<https://doi.org/10.15407/eip2020.02.043>

ДК 336.7:519.24

JEL: C33, C55, C65, G21

Васюренко О.В., д-р екон. наук, професор
проректор з економіки
ПВНЗ "Київський інститут бізнесу та технологій"
ORCID 0000-0003-3225-0744
e-mail: vasiurenkooleg66@gmail.com

Ляшенко В.В.
завідувач лабораторії "Трансферт інформаційних технологій
в системах скорочення ризиків"
Харківський національний університет радіоелектроніки
ORCID 0000-0001-5455-5026
e-mail: lyashenko.vyacheslav@gmail.com

ВЕЙВЛЕТ-КОГЕРЕНТНІСТЬ ЯК ІНСТРУМЕНТ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛІЗУ ДІЯЛЬНОСТІ БАНКІВ

Розглянуто можливість та доцільність застосування апарату теорії вейвлетів щодо проведення аналізу банківської діяльності. Визначено окремі етапи комплексного застосування різних інструментів з теорії вейвлетів щодо проведення аналізу діяльності банків на основі ретроспективних даних. Серед таких етапів відзначено розкладання початкових даних за їх апроксимуючими коефіцієнтами та коефіцієнтами деталізації, застосування вейвлет-когерентності.

Зауважено про важливість проведення ретроспективного аналізу щодо розкриття прихованих взаємозв'язків у структурі даних, які визначають окремі аспекти банківської діяльності. Підкреслено переваги застосування інструментів теорії вейвлетів для аналізу діяльності банків на основі статистичних даних про їхню діяльність. Серед таких переваг виділено можливість як дослідження зв'язків між даними у часі та визначення їх глибини, так і виконання цього в одному дослідницькому вікні.

Особливу увагу зосереджено на аналізі взаємозв'язку між обсягами коштів на депозитних рахунках та обсягами наданих кредитів – як одних із ключових параметрів щодо ведення банківської діяльності. Зауважено, що такий взаємозв'язок залежить від обсягів адміністративних витрат та власного капіталу банків.

Відзначено, що ретроспективний аналіз дає можливість виявити наслідки настання небажаних подій та попередити їх у майбутньому.



Для проведення відповідного аналізу розкрито зміст побудови опису просторової вейвлет-когерентності, що дає можливість врахувати кількість параметрів більшу, аніж за класичних підходів до її обчислення. Це розширює межі відповідного аналізу, допомагає дослідити різноманітні взаємні впливи між окремими банками з погляду їх окремих показників щодо ведення банківської діяльності. Такий аналіз дає змогу визначати не лише взаємозв'язок між окремими показниками банківської діяльності, а й глибину впливу між окремими банками з урахуванням таких показників їх діяльності. Наведено конкретні приклади, що доводять доцільність та вірогідність застосування пропонуванних підходів до аналізу банківської діяльності.

Ключові слова: *вейвлет-когерентність, банківська діяльність, часові ряди, депозити, кредити, адміністративні витрати, власний капітал*

Банківська система є одним із ключових елементів формування ринкової економіки та дієвості фінансового ринку. До того ж вона визначає одну з класичних моделей функціонування фінансового ринку (bank based financial system), що орієнтується насамперед на банківське фінансування. Саме ця модель унаслідок історичних обставин та ряду об'єктивних факторів більш притаманна ринковим відносинам в Україні [1, 2]. Зокрема, це слугує поясненням тих болючих трансформацій, які відбувалися у банківській системі України протягом останніх років. Отже, будь-які аспекти функціонування та розвитку банківської системи є важливими та актуальними – чи то стосовно розуміння сталості та дієвості ведення банківської діяльності зокрема, чи то формування засад функціонування фінансового ринку України й економічного розвитку загалом.

Взаємодія між усіма складовими банківської системи – центрального банку, який формує відповідні засади та вимоги нормативно-правового регулювання щодо ведення банківської діяльності згідно з потребами економіки країни та функціонування різних суб'єктів господарювання, контролює дотримання таких засад і вимог на основі постійного моніторингу встановлених ключових індикаторів, та комерційними банками, що забезпечують та підтримують економічну взаємодію між окремими суб'єктами господарювання, населенням, державою у фінансовій сфері, – зокрема, взаємозв'язок власне між комерційними банками, забезпечує сталість ведення банківської діяльності, дієвість функціонування банківської системи та розвиток економіки країни. У підсумку це визначає за необхідне розглянути ведення банківської діяльності під кутом зору її узагальнення та прослідкувати її у ретроспективі, що, на нашу думку, є визначальним. У такому випадку можливий більш детальний аналіз можливих помилок, запобігання їх виникненню у майбутньому на основі побудови адекватної прогнозної моделі. Це також є важливим для забезпечення

економічної безпеки та управління діяльністю банків, банківською системою тощо, що в результаті й визначає так звані процеси економічної динаміки.

Для узагальнення та розкриття окремих аспектів із ведення банківської діяльності застосовуються різні підходи, методи, теорії. Серед таких підходів, методів та теорій варто виділити: теорію нечіткої множини [3], теорію ймовірності [4], методи аналізу за допомогою нейронних мереж [5], методи статистичного аналізу [6], вейвлет-аналіз [7, 8].

Однак процеси, що узагальнюють сутність ведення банківської діяльності, здійснюються внаслідок цілої низки факторів, яким притаманні змінність та швидкоплинність. Це вимагає застосування окремих підходів щодо їх інтерпретації. До того ж наявність різних інструментів аналізу дозволяє провести глибший аналіз. Тому питання щодо визначення нових підходів до аналізу банківської діяльності не втрачає актуальності.

Тому як мету цього дослідження обрано узагальнення банківської діяльності на основі ретроспективних даних, що, на нашу думку, передбачає застосування так званої вейвлет-когерентності та визначення на цій основі настання небажаних подій та попередження їх наслідків.

Опис банківської діяльності у вигляді сукупності часових рядів

Банківська діяльність узагальнюється цілою сукупністю різних показників (як-от окремі нормативні показники ведення банківської діяльності, обсяги залучених коштів на депозитні рахунки, обсяги наданих кредитів у розрізі окремих галузей економіки, відсотки за наданими кредитами тощо), що визначаються відповідно до певного різновиду такої діяльності згідно з визначеними проміжками часу. При цьому за допомогою часових рядів даних ми можемо надати просторо-часовий опис банківської діяльності.

З точки зору часової складової загалом формалізований опис банківської діяльності визначається як сукупність окремих часових рядів:

$$OBT = \{f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)\}, \quad (1)$$

де OBT – узагальнений формалізований опис банківської діяльності з точки зору узагальненого визначення її часової складової у вигляді окремих часових рядів;

$f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)$ – окремі часові ряди, що визначають змістовність банківської діяльності протягом деякого часу $t = \overline{0, s}$ за певними показниками, наприклад, такими, як 1 – обсяг коштів на депозитних рахунках населення, 2 – обсяг наданих кредитів й т.ін. (усього n показників щодо ведення банківської діяльності).

При цьому, згідно з формалізованим описом за виразом (1), ми можемо розглядати відповідний опис банківської діяльності у площині певної сукупності банків (як окремого елемента банківської системи) або окремого банку. Це надає можливості для дослідження різних аспектів економічної динаміки – ми можемо розглядати економічну динаміку для одного банку, групи банків або банківської системи загалом. Зокрема, формалізований опис банківської діяльності за виразом (1) дозволяє проводити дослідження наявної динаміки розвит-

ку банків (банку) та визначати ретроспективу змінності відповідних показників, їх взаємовпливу між собою або впливу на деякий підсумковий результат. Такий підхід є традиційним при проведенні досліджень щодо поточного аналізу діяльності банків, ведення відповідної діяльності за окремими напрямками та визначення умов подальшого функціонування банків, розвитку банківської діяльності. Як приклад досліджень, де дані визначаються як певні часові ряди, можна навести цілу низку робіт [2, 9, 10].

Разом із цим ми також можемо розглядати просторовий опис банківської діяльності на основі відповідних часових рядів даних. У такому випадку формалізований опис банківської діяльності можна подати, наприклад, у такий спосіб:

$$OBP = g_n^T(P_1, P_2, \dots, P_c), \quad (2)$$

де OBP – узагальнений формалізований опис банківської діяльності відповідно до визначення просторової складової його узагальнення у вигляді часових рядів;

$g_n^T(\dots)$ – просторовий опис окремої множини банків (P_1, P_2, \dots, P_c) за певним показником діяльності банків n на певну дату T з досліджуваного проміжку часу $t = \overline{0, s}$.

Тоді, маючи множину просторових описів діяльності банків (P_1, P_2, \dots, P_c) за окремими показниками їх діяльності $(1, 2, \dots, n)$, можна узагальнити формалізований опис банківської діяльності відповідно до визначення просторової складової на певну дату T як:

$$\{g_1^T(P_1, P_2, \dots, P_c), g_2^T(P_1, P_2, \dots, P_c), \dots, g_n^T(P_1, P_2, \dots, P_c)\}, \quad (3)$$

або на різні дати (T_0, T_1, \dots, T_s) з обраного проміжку часу $t = \overline{0, s}$ для окремого показника банківської діяльності n як:

$$\{g_n^{T_0}(P_1, P_2, \dots, P_c), g_n^{T_1}(P_1, P_2, \dots, P_c), \dots, g_n^{T_s}(P_1, P_2, \dots, P_c)\}. \quad (4)$$

Формалізований опис банківської діяльності за виразами (2–4) допомагає насамперед визначити взаємовпливи між різними банками з урахуванням опису ведення відповідної діяльності за окремими показниками. Такий аналіз дозволяє як ранжувати певну групу банків за окремими показниками банківської діяльності, так і виявити, як це впливає на взаємозв'язки. Прикладом досліджень, які засновані на формалізованому описі банківської діяльності відповідно до просторової складової такого узагальнення у вигляді часових рядів, можна назвати метод стохастичного граничного аналізу [11, 12].

Отже, відображення банківської діяльності у вигляді сукупності часових рядів є поширеним підходом, який дає змогу проводити відповідний аналіз за допомогою традиційних та класичних підходів. Утім такий аналіз, як правило, розкриває переважно наявні зв'язки між досліджуваними параметрами, що дещо звужує базу прийняття рішень. Більш того, наприклад, у кожному окремому випадку для проведення статистичного аналізу необхідно генерувати окремий масив даних. Відтак висновки складаються з різних дослідницьких вікон, кожне з яких відповідає за свій інтервал даних. Проте важливо

узагальнити та визначити такі висновки в одному дослідницькому вікні з урахуванням можливих змін у впливах між обраними даними між собою з часом. Для цього видається доцільним застосування так званої методології вейвлетів, яка досить вдало зарекомендувала себе під час проведення досліджень у розрізі різноманітних економічних даних [7, 8, 13].

Вейвлет-когерентність як складова вейвлет-аналізу

Загалом методологія аналізу даних на основі застосування вейвлетів передбачає застосування різних спеціалізованих функцій до рядів даних, які за своїми ознаками слід визначити як часові ряди даних. Ключовою серед таких ознак є чітко визначений інтервал (шаг) послідовного відбору даних для формування відповідного ряду. Водночас визначення такого інтервалу (шагу) може бути різним [14] – це може бути часовий шаг (рік, місяць, тиждень, доба тощо) або, наприклад, певне ранжування даних відповідно до обраної шкали (тоді як **шагом** відбору даних можна розглядати розташування цих даних відповідно до проведеного ранжування, де такий шаг вказує на кількість позицій, за якими такі дані різняться).

Як спеціалізовані функції для проведення вейвлет-аналізу розглядаються так звані функції вейвлет-перетворення, що дають змогу перетворити первинний ряд даних на сукупність декількох рядів у вигляді апроксимуючих коефіцієнтів та коефіцієнтів деталізації. Серед таких функцій називають:

- функцію материнського вейвлету $\varphi(t)$, яка розкриває деталі досліджуваних даних і так звані деталізуючі коефіцієнти;
- скейлінг-функцію $\phi(t)$, яка визначає так звані апроксимуючі коефіцієнти та дозволяє створити менший, але наближений до первинного ряд даних. Це допомагає пришвидшити час обробки первинних даних та отримати первинні приблизні результати.

Тоді безперервне вейвлет-перетворення для деякого часового ряду $f(t) \in L^2(R)$ на інтервалі часу t має такий формалізований запис [14, 15]:

$$W_f(u, s) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \varphi\left(\frac{t-u}{s}\right), \quad (5)$$

де $\frac{1}{\sqrt{s}}$ відображає нормалізацію даних;

u – параметр місця знаходження елемента часового ряду;

s – параметр масштабу;

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) dt = 0. \quad (6)$$

А первинний ряд даних $f(t)$ можна відобразити у вигляді сукупності окремих рядів $f^i(t)$ його N розкладів за апроксимуючими коефіцієнтами (apr) та коефіцієнтами деталізації (det) [14, 15]:

$$f(t) = \sum_{i=1}^N f^i(t), \quad (7)$$

$$f^N(t) = apr^N(N)\phi(t) + det^N(N)\varphi(t), \quad (8)$$

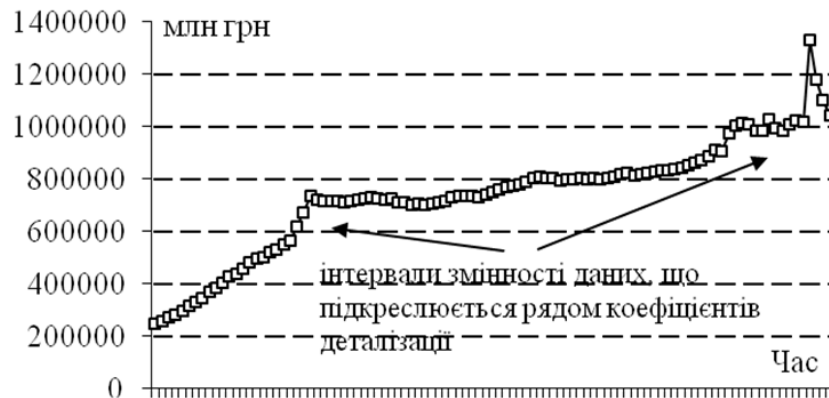
$$apr = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\phi(t)dt, \quad (9)$$

$$det = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\varphi(t)dt, \quad (10)$$

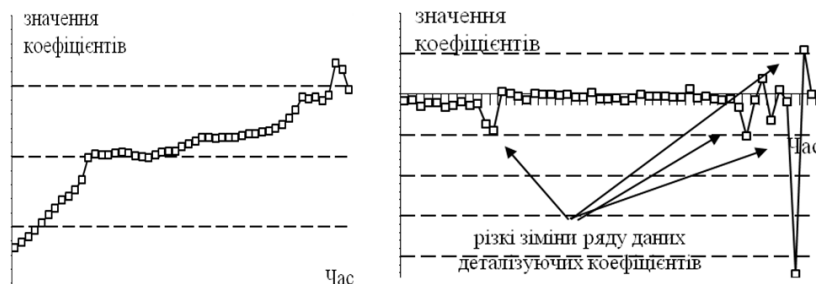
$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(t)dt = 1. \quad (11)$$

Таким чином, вейвлет-перетворення дозволяє побудувати ієрархічну структуру вхідного досліджуваного часового ряду $f(t)$. В результаті можна знайти найбільш важливі (характерні) точки первинного часового ряду, який досліджується. Відтак можливо отримати набір нових характеристик первинного ряду даних. У підсумку таке перетворення сприяє проведенню більш деталізованого аналізу первинних даних, дає можливість встановити приховані тенденції. Саме цим методи теорії вейвлетів відрізняються від класичних підходів. Це пов'язано із тим, що інформаційні потоки, які породжуються часовими рядами, мають фрактальні властивості, що й розпізнає вейвлет-перетворення та надає можливості більшої інформативності [14]. Зокрема розклад первинного ряду даних на його окремі складові (коефіцієнти апроксимації та деталізації) дозволяє більш ґрунтовно та детально дослідити зміни тенденцій у початковому ряді даних (за рахунок коефіцієнтів деталізації) та зменшити час обробки вхідної інформації (за рахунок визначення ієрархічної структури первинного ряду, де окремі структурні елементи є значно меншими, але подібними до первинного ряду даних).

Як приклад вейвлет-перетворення на рис. 1а наведено первинний ряд даних, що відображає динаміку обсягів кредитів, наданих в економіку України за підсумками 2007–2015 рр., на рис. 1б – динаміку апроксимуючих коефіцієнтів, на рис. 1в – динаміку коефіцієнтів деталізації першого рівня розкладу первинного ряду даних за рис. 1а (було застосовано вейвлет-перетворення за допомогою материнського вейвлету Дебозі-1. Цей вейвлет є класичним у застосуванні при дослідженні часових рядів даних, пов'язаних з описом економічної динаміки).



а) Динаміка обсягів кредитів, наданих в економіку України за підсумками 2007–2015 рр. у їх місячному обчисленні



б) Апроксимуючі коефіцієнти

в) Деталізуючі коефіцієнти

Рис. 1. Динаміка обсягів кредитів, наданих в економіку України за підсумками 2007–2015 рр. у їх місячному обчисленні та їх вейвлет-перетворення у вигляді апроксимуючих коефіцієнтів та коефіцієнтів деталізації

Джерело: побудовано автором: 1 а – за даними <https://bank.gov.ua/statistic>, 1б та 1в – власні розрахунки.

Ми бачимо, що динаміка рядів на рис. 1а та рис. 1б збігається. Водночас ряд за даними рис. 1б є значно меншим, аніж первинний ряд даних на рис. 1а (відповідно до загальних положень вейвлет-перетворення кількість значень рядів апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів порівняно з первинним рядом менша удвічі [14]). Тож час подальшого аналізу та обробки відповідних даних можна значно скоротити, що є важливим для прийняття оперативних рішень. Окрім цього, за даними рис. 1в можна спостерігати різкі зміни у наведеному ряду коефіцієнтів деталізації. Саме ці зміни є предметом більш детального аналізу з їх імплементацією на первинний ряд щодо розуміння процесів з аналізу відповідної економічної динаміки (обсягів наданих кредитів) та часу їх виникнення, довготривалості. Отже, вейвлет-перетворення є простим та ґрунтовним інструментом для аналізу відповідних даних.

Утім вейвлет-аналіз можна провести з використанням більш складних засобів, наприклад, вейвлет-когерентності, яка вимірює локальну кореляцію двох часових рядів у часово-частотній області на основі аналізу перехресних зв'язків між досліджуваними рядами. Це дозволяє проаналізувати взаємну динаміку різних часових рядів даних та їх вплив між собою. Відтак може йтися або про взаємну узгодженість, або про взаємну неузгодженість досліджуваних рядів даних. При цьому варто зауважити, що:

- ми можемо аналізувати дані у часі та робити відповідні висновки. Водночас ми можемо обрати значний інтервал часу, а усі рішення до відповідного проведення аналізу будуть відображені в одному дослідницькому вікні. Таким чином можна спостерігати змінність певних тенденцій та проводити відповідний аналіз;

- разом із цим (відповідно до аналізу часових змін) також є можливим визначення глибини наявних зв'язків між досліджуваними даними. Класичні підходи у цьому випадку передбачають застосування різних певних методів. У нашому випадку вимірювання вейвлет-когерентності дає змогу отримати результати за різними напрямками дослідження та проаналізувати їх. Отже, ми

отримуємо додаткову та досить важливу інформацію, як змінюються певні тенденції, їх тривалість та вплив у майбутні періоди часу.

Для відповідного дослідження та вимірювання вейвлет-когерентності застосовується такий вираз [16]:

$$R^2(f_1, f_2) = \frac{|\Pi(f_2^{-1}\Omega_{xy}(f_1, f_2))|}{\Pi(f_2^{-1}|\Omega_x(f_1, f_2)|^2)\Pi(f_2^{-1}|\Omega_y(f_1, f_2)|^2)}, \quad (12)$$

де $R^2(f_1, f_2)$ – формалізований опис обчислення вейвлет-когерентності у вигляді квадрату абсолютного значення згладжених крос-вейвлет-спектрів, нормованих на мультиплікативне визначення згладжених окремих вейвлет-спектрів потужності кожного ряду даних. $0 \leq R^2(f_1, f_2) \leq 1$;

$\Omega_{xy}(f_1, f_2)$ – крос-вейвлет-спектр для окремих часових рядів $f_1(t)$ та $f_2(t)$ по часу (по осі x) та частоті (по осі y);

Π – оператор згладжування.

Для реалізації опису обчислення вейвлет-когерентності застосовується вейвлет Морле, який має гарну частотно-часову локалізацію у дослідженні узгодженості між окремими рядами даних.

На рис. 2 як приклад наведено два окремі описи вейвлет-когерентності між часовими рядами даних, що визначають обсяги залучених коштів на депозитні рахунки та обсяги наданих кредитів у всій вітчизняній банківській системі загалом (рис. 2а) та спред між ставками за кредитами та депозитами (базисні пункти) і спред між найвищою та найнижчою міжбанківськими ставками (базисні пункти) у всій вітчизняній банківській системі загалом (рис. 2б) за підсумками 2006–2018 рр. у розрізі окремих кварталів. Такий вибір показників для аналізу ведення банківської діяльності поширений у більшості наявних досліджень, бо саме вони визначають є традиційними індикаторами такої діяльності. Разом із цим варто зауважити, що наведені дані (а також ті дані, які далі розглядатимуться як приклади) дають змогу порівняти результати, отримані відповідно до класичних підходів з аналізу банківської діяльності, з результатами відповідно до пропонованих підходів на основі методів теорії вейвлетів. Тому це може слугувати підтвердженням ґрунтовності та вірогідності отриманих результатів за допомогою підходів на основі методів теорії вейвлетів.

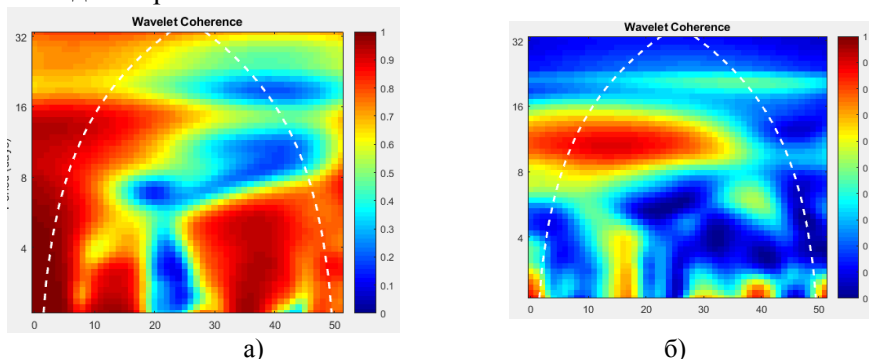


Рис. 2. Приклад опису вейвлет-когерентності між окремими часовими рядами, що характеризують діяльність вітчизняної банківської системи

Джерело: власні розрахунки за даними <https://bank.gov.ua/statistic>



У першому випадку аналіз взаємозалежності між обсягами залучених ресурсів на депозитні рахунки та обсягами наданих кредитів може розглядатися як ефективність ведення відповідних напрямів банківської діяльності та використання наявних ресурсів. У другому випадку спред між ставками за кредитами та депозитами (базисні пункти) та спред між найвищою та найнижчою міжбанківськими ставками (базисні пункти) характеризує наявні умови здійснення банківської діяльності відповідно до узгодженості встановлених відсоткових ставок згідно з наявними умовами їх формування на ринку.

Також відзначимо, що на рис. 2 загалом відображено [17]:

- по осі абсцис – часові параметри аналізованих рядів даних, які визначають порядкові номери окремих часових вимірів із досліджуваної послідовності у період з 2006 р. по 2018 р. у розрізі окремих кварталів. Загалом ми маємо 52 таких виміри. Згідно із зазначеним вище, вісь абсцис дозволяє аналізувати взаємозв'язок між даними у часі,

- по осі ординат – зважену характеристику вейвлет-коефіцієнтів аналізованих рядів у часово-частотному просторі, де кожна одиниця виміру вказує на глибину взаємозв'язку між досліджуваними рядами даних. Тобто дані з осі ординат дають можливість аналізувати глибину взаємозв'язків відповідно до певних проміжків часу згідно з даними осі абсцис,

- у полі рисунків відображено числові значення опису вейвлет-когерентності між окремими часовими рядами, що подані у вигляді кольорових параметрів. Ці кольорові параметри подані відповідно до шкали значимості, розміщеної праворуч кожного рисунка. Значення вейвлет-когерентності перебуває у діапазоні від 0 до 1. Окремі області – це локалізація узгодженості (значення вейвлет-когерентності прямує до 1) або неузгодженості (значення вейвлет-когерентності прямує до 0) рядів що досліджуються,

- перервна біла лінія обмежує область достовірних значень вейвлет-когерентності (при рівні достовірності не менше ніж 0,95. Таким чином, ми маємо статистичні параметри, які вказують на достовірність отриманих результатів). Ці значення вейвлет-когерентності знаходяться всередині пунктирної лінії.

Отже, з даних рис. 2а випливає, що не можна говорити про суцільну узгодженість між обсягами залучених коштів на депозитні рахунки та обсягами наданих кредитів з погляду вітчизняної банківської системи загалом. Тобто з даних рис. 2а видно, що існують як періоди часу, коли такі ряди даних були узгоджені (це є характерним для 2006–2010 рр. та 2013–2018 рр.), так і період, коли такі ряди даних були неузгоджені (2011–2012 рр.). Водночас ми також можемо відзначити, що така узгодженість переважно спостерігалася для тих перехресних зв'язків між досліджуваними рядами, які мають меншу глибину взаємного зв'язку (див. дані рис. 2а по осі ординат. Це чітко видно для даних 2013–2018 рр.). Тому можна констатувати, що у довгостроковій перспективі обсяг ресурсів, достатній для підтримки узгодженості між обсягами залучених коштів на депозитні рахунки та обсягами наданих кредитів у вітчизняній банківській системі загалом, зменшується. Тож це стає фактором обмеження розширеного кредитування економіки.



Разом із тим дані рис. 2б свідчать про відсутність загальної узгодженості щодо зв'язку спреду між ставками за кредитами та депозитами і спреду між найвищою та найнижчою міжбанківськими ставками у вітчизняній банківській системі загалом. Більш того, варто підкреслити, що така узгодженість є фрагментарною. Відтак можна говорити про порушення ключових засад здійснення банківської діяльності відповідно до узгодженості встановлених відсоткових ставок як однієї з умов їх утворення під впливом ринкових факторів.

Як зазначалося вище, ми також можемо розглядати часові ряди даних у вигляді їх просторових ознак відповідно до формалізованого опису за виразами (2–4). Відповідно до цього і можна трансформувати методологію упровадження вейвлет-когерентності. Тож розглянемо це питання докладніше.

Вейвлет-когерентність при розгляді просторової складової опису банківської діяльності у вигляді часових рядів даних

Насамперед зауважимо, що варто дотриматися основної умови застосування методології вейвлетів – це упровадження процедури послідовного відбору даних для формування відповідних рядів даних, де ключовим є питання врахування постійного шагу між окремими елементами такого ряду. Якщо ми говоримо про упровадження просторового опису часового ряду, то варто насамперед відзначити вирази (2) та (3). Тоді для формування відповідного ряду даних можна використовувати порядковий номер банку в їх загальній сукупності, Тобто при складанні опису вейвлет-когерентності по осі абсцис ми будемо застосовувати порядковий номер певного банку. При цьому такий порядковий номер формується внаслідок ранжування множини банків відповідно до поставленого завдання дослідження. По осі ординат у такому випадку відображається глибина зв'язків між банками, які досліджуються при їх просторовому опису у вигляді часових рядів.

Відповідний опис вейвлет-когерентності з точки зору просторового опису банківської діяльності у вигляді часових рядів даних – це вейвлет-когерентність, яка визначає взаємозв'язок об'єктів, що досліджується на певний момент часу. Такий підхід дозволяє аналізувати взаємовплив при веденні банківської діяльності між окремими банками, що є вкрай важливим для динаміки розвитку як окремих банків, так й банківської системи загалом. При цьому варто зазначити, що такий підхід розширює межі відповідного аналізу та надає нові інструменти для його проведення (бо ми можемо розглядати будь-яку комбінацію показників із ведення банківської діяльності відповідно до поставленого економічного завдання такого розгляду).

Отже, будемо розглядати певну сукупність просторових часових рядів $(g_1(\dots), g_2(\dots), g_3(\dots))$ на визначену дату T для сукупності банків (P_1, P_2, \dots, P_C) . Для побудови опису просторової вейвлет-когерентності достатньо розглядати три часові ряди $g_n(\dots)$. Тобто один з таких рядів буде основою для проведення ранжування банків, а два інші застосовуються для побудови опису просторової вейвлет-когерентності. Згідно з такими зауваженнями вираз (12) набирає такого вигляду:



$$P_{g_3}^2(g_1, g_2) = \frac{|\Pi(g_2^{-1}\Omega_{xy}^{g_3}(g_1, g_2))|}{\Pi(g_2^{-1}|\Omega_x^{g_3}(g_1, g_2)|^2)\Pi(g_2^{-1}|\Omega_y^{g_3}(g_1, g_2)|^2)}, \quad (13)$$

де: $P_{g_3}^2(g_1, g_2)$ – формалізований опис обчислення просторової вейвлет-когерентності у вигляді квадрату абсолютного значення згладжених крос-вейвлет-спектрів, нормованих на мультиплікативне визначення згладжених окремих вейвлет-спектрів потужності кожного ряду даних. $0 \leq R^2(f_1, f_2) \leq 1$;

$\Omega_{xy}^{g_3}(g_1, g_2)$ – крос-вейвлет-спектр для окремих часових рядів $g_1(\dots)$ та $g_2(\dots)$ по часу (по осі X) та частоті – глибині взаємозв'язку між окремими банками (по осі Y);

$g_3(\dots)$ – ряд даних для проведення ранжування досліджуваних банків при просторовому опису банківської діяльності;

Π – оператор згладжування.

При цьому загальна процедура з формування просторового опису вейвлет-когерентності щодо аналізу банківської діяльності є такою.

Перший крок: формулюється завдання дослідження та обираються окремі часові ряди даних ($g_1(\dots)$, $g_2(\dots)$, $g_3(\dots)$).

Другий крок: визначається часовий ряд для проведення ранжування банків, які досліджуються.

Третій крок: відповідно до проведеного ранжування за обраним часовим рядом відбувається упорядкування інших двох просторових часових рядів даних. Також видаляються ті записи, що мають від'ємні або нульові значення для будь-яких показників банківської діяльності – ми вилучаємо ті записи, які вносять явний дисбаланс у процеси ведення банківської діяльності. Відтак ми дотримуємося тієї думки, що варто проводити аналіз більш стійких банківських установ та виявляти приховані чинники виникнення неузгодженості у русі фінансових потоків банку, що визначаються відповідними даними часових рядів за окремими показниками.

Четвертий крок: обираються окремі часові проміжки T та проводиться обчислення просторового опису вейвлет-когерентності для таких проміжків часу.

П'ятий крок: проводиться порівняльний аналіз обчислених описів просторової вейвлет-когерентності та формулюються висновки.

Загалом такий підхід дає можливість:

– проводити аналіз взаємовпливу окремих банків з урахуванням різних показників їх діяльності,

– порівнювати та знаходити зміни у взаємних впливах протягом окремих проміжків часу.

Розглянемо декілька прикладів такого аналізу. Відповідно до першого кроку пропонуваної процедури сформулюємо задачу аналізу та оберемо конкретні часові ряди даних ($g_1(\dots)$, $g_2(\dots)$, $g_3(\dots)$).

Враховуючи той факт, що саме обсяги залучених депозитів та обсяг наданих кредитів у традиційному розумінні визначають зміст ведення банківської діяльності, розглядатимемо просторовий опис вейвлет-когерентності саме між

обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів. Оберемо групу вітчизняних комерційних банків на окремих проміжках часу, а саме: станом на: 01.01.2006 р., 01.01.2008 р., 01.01.2010 р. та 01.01.2012 р. Такий вибір зокрема дозволяє більш детально зрозуміти те, що відображено на рис. 2а. Усі дані для проведення розрахунків обрано з <https://bank.gov.ua/statistic>.

Утім варто розуміти, що узгодженість між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів також визначається цілою низкою різних факторів. Як один із таких факторів слід відзначити загальний стан розвитку банку. Відображенням цього певною мірою може слугувати обсяг адміністративних витрат. Тож щодо проведення ранжування банків ми обираємо ряд даних, який визначає обсяги адміністративних витрат за різними банками. Отже, ми аналізуватимемо узгодженість між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів відповідно до обсягів адміністративних витрат. Таке ранжування проводиться відповідно до зростання обсягів адміністративних витрат (хоча принципової різниці щодо проведення ранжування у зворотному напрямі немає).

Відповідно до наведеного вище на рис. 3 подано опис просторової вейвлет-когерентності між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів відповідно до обсягів адміністративних витрат у розрізі окремих проміжків часу.

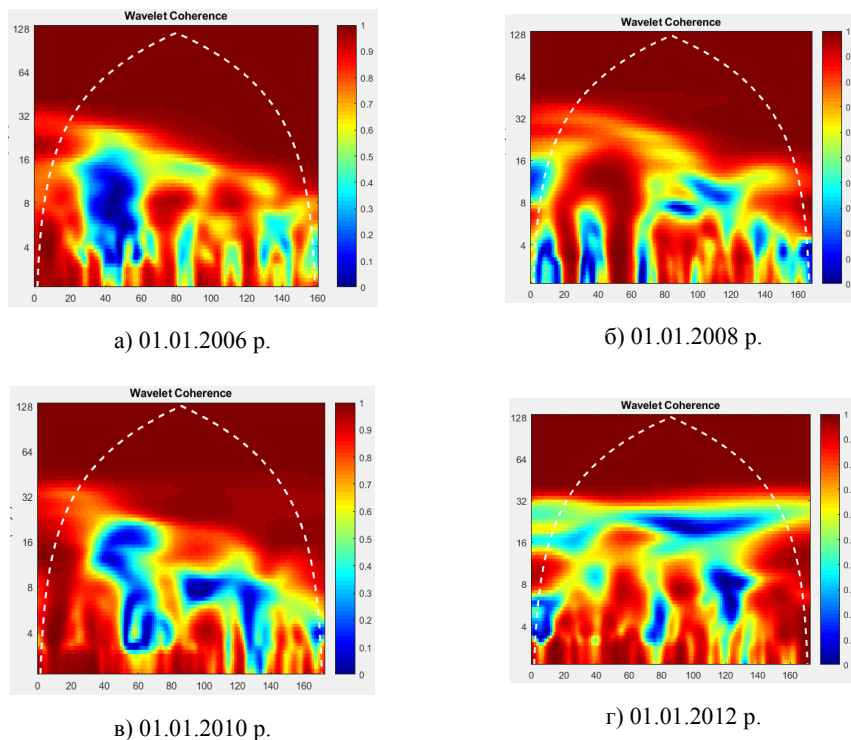


Рис. 3. Опис просторової вейвлет-когерентності між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів відповідно до обсягів адміністративних витрат у розрізі окремих проміжків часу

Джерело: власні розрахунки

Аналіз даних рис. 3 показує змінність в узгодженості між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів відповідно до обсягів адміністративних витрат у розрізі окремих проміжків часу. При цьому найбільшу неузгодженість між досліджуваними рядами можна спостерігати на такий момент часу, як 01.01.2012 р. Це цілком збігається з даними рис. 2а та надає певні пояснення. Тобто, наведені дані за рис. 3 вказують на те, що наявні обсяги адміністративних витрат – як узагальнений прояв ефективної системи менеджменту банку – є недостатніми щодо повної узгодженості між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів. Звісно, що серед чинників такого впливу варто також враховувати і фактори зовнішнього впливу (ринкове середовище, активність клієнтів банку, дії конкурентів тощо), однак систему менеджменту банку теж слід оперативно адаптувати до подібної змінності факторів. З цього приводу необхідно також розглянути узгодженість між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів відповідно до обсягів власного капіталу.

Обсяг власного капіталу є одним із ключових показників ведення банківської діяльності, що визначає здатність банку протистояти потенційним ризиками (зокрема – адекватно реагувати на змінність факторів зовнішнього середовища). Тож відповідно до цього розглянемо опис просторової вейвлет-когерентності між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів відповідно до обсягів власного капіталу (рис. 4).

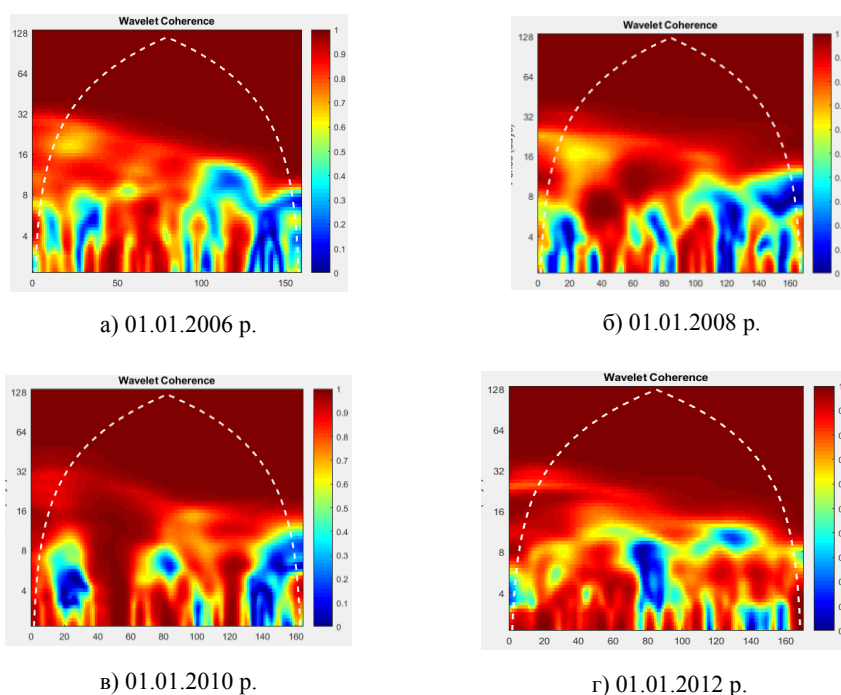


Рис. 4. Опис просторової вейвлет когерентності між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів відповідно до обсягів власного капіталу у розрізі окремих проміжків часу

Джерело: власні розрахунки



За даними рис. 4 ми також визначаємо відсутність суцільної узгодженості між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів відповідно до обсягів власного капіталу. Проте така узгодженість є вищою порівняно з даними рис. 3. Тож, відповідно до впливів обсягів власного капіталу можна зауважити, що банки приділяють достатньо уваги узгодженості між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів. Отже, власний капітал виконує свої захисні функції, а його обсяги є припустимими й достатніми, що згладжує наявну неузгодженість між обсягами наданих кредитів та обсягами залучених депозитів відповідно до обсягів адміністративних витрат. У підсумку це засвідчує доречність застосування методології вейвлетів щодо ретроспективного аналізу банківської діяльності.

Висновки

Розглянута методика застосування вейвлетів до аналізу банківської діяльності показала свою ефективність та вірогідність. Це підтверджено на основі розгляду різних ретроспективних даних щодо ведення банківської діяльності. Відмінністю цього дослідження є комплексне врахування різноманітних інструментів теорії вейвлетів для аналізу банківської діяльності. Особливу увагу зосереджено на формалізації опису просторової вейвлет-когерентності та апробації пропонованої методики на реальних статистичних даних, де дані підібрані таким чином, щоб результати застосування методики можна було порівняти із результатами застосування класичних підходів до їх аналізу. Ключовою відмінністю запровадження пропонованих підходів є можливість одночасного як проведення часового аналізу досліджуваних рядів даних, так і визначення глибини відповідних взаємозв'язків між досліджуваними даними. Тож подальша перспектива дослідження вбачається в застосуванні отриманих результатів щодо формування модельних описів просторової взаємодії банків. Основу розбудови таких описів доцільно визначити на основі врахування найбільш прийнятної узгодженості між окремими рядами даних, які визначають певні показники банківської діяльності (згідно з окремими напрямками дослідження).

Список використаних джерел

1. Варцаба В.І. Проблеми забезпечення фінансової стійкості банківської системи України. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Економіка*. 2018. № 1 (51). С. 311–316. [https://doi.org/10.24144/2409-6857.2018.1\(51\).311-316](https://doi.org/10.24144/2409-6857.2018.1(51).311-316)
2. Рушишин Н.М., Костак З.Р. Банківська система України: сучасний стан та перспективи розвитку. *Економіка і суспільство*. 2018. № 16. С. 783–789. URL: http://economyandsociety.in.ua/journal/16_ukr/119.pdf
3. Liang D., Zhang Y., Xu Z., Jamaldeen A. Pythagorean fuzzy VIKOR approaches based on TODIM for evaluating internet banking website quality of Ghanaian banking industry. *Applied Soft Computing*. 2019. № 78. P. 583–594. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.03.006>
4. Affes Z., Hentati-Kaffel R. Predicting US banks bankruptcy: logit versus Canonical Discriminant analysis. *Computational Economics*. 2019. № 54(1). P. 199–244. <https://doi.org/10.1007/s10614-017-9698-0>



5. Sharma S.K. Integrating cognitive antecedents into TAM to explain mobile banking behavioral intention: A SEM-neural network modeling. *Information Systems Frontiers*. 2019. № 21(4). P. 815–827. <https://doi.org/10.1007/s10796-017-9775-x>
6. Li Y., Allan N., Evans J. R. A Nonlinear Analysis of Operational Risk Events in Australian Banks. *Journal of Operational Risk, Forthcoming*. 2017. URL: <https://ssrn.com/abstract=2906327>
7. Saiti B, Bacha O. I., Masih M. Testing the conventional and Islamic financial market contagion: evidence from wavelet analysis. *Emerging Markets Finance and Trade*. 2016. № 52(8). P. 1832–1849. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2015.1087784>
8. Edurkar A., Shaikh A.A. Application of Morlet Wavelet Transform for analysis of Business Practices of Foreign Banks in India. *Wealth: International Journal of Money, Banking & Finance*. 2018. № 7(1). P. 12–17.
9. Okeke C., Nwude E. C. A Statistical Simulation for the Profitability of Banks: A Study. *International Journal of Economics and Financial Issues*. 2018. № 8(2). P. 243–254.
10. Affes Z., Hentati-Kaffel R. Predicting US banks bankruptcy: logit versus Canonical Discriminant analysis. *Computational Economics*. 2019. № 54(1). P. 199–244. <https://doi.org/10.1007/s10614-017-9698-0>
11. Васюренко О., Ляшенко В., Подчесова В. Ефективність кредитування фізичних та юридичних осіб банками України: методологія аналізу стохастичних границь. *Вісник Національного банку України*. 2014. № 1. С. 5–11.
12. Anwar M. Cost efficiency performance of Indonesian banks over the recovery period: A stochastic frontier analysis. *The Social Science Journal*. 2019. № 56(3). P. 377–389. <https://doi.org/10.1016/j.soscij.2018.08.002>
13. He F., He X. A Continuous Differentiable Wavelet Shrinkage Function for Economic Data Denoising. *Computational Economics*. 2019. № 54(2). P. 729–761. <https://doi.org/10.1007/s10614-018-9849-y>
14. Lyashenko V., Deineko Z., Ahmad A. Properties of wavelet coefficients of self-similar time series. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. 2015. № 6(1). P. 1492–1499.
15. Heil C. E., Walnut D. F. Continuous and discrete wavelet transforms. *SIAM review*. 1989. № 31(4). P. 628–666. <https://doi.org/10.1137/1031129>
16. Grinsted A., Moore J. C., Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*. 2004. № 11 (5/6). P. 561–566.
17. Lyashenko V., Zeleniy O., Mustafa S. K., Ahmad M. A. An Advanced Methodology for Visualization of Changes in the Properties of a Dye. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. № 9(1). P. 7111–7114. <https://doi.org/10.35940/ijeat.A1496.109119>.

Надійшла до редакції 25.02.2020 р.

Прорецензовано 13.05.2020 р.

Підписано до друку 03.07.2020 р.



O. Vasiurenko, Professor, Dr. Habil. (Economics),
Vice-Rector on Economics, PVNZ "Kyiv Institute of Business and Technology"
ORCID 0000-0003-3225-0744
e-mail: vasiurenkooleg66@gmail.com

V. Lyashenko,
Head of the laboratory "Transfer of information technologies in quick-release systems", Kharkiv National University of Radio Electronics
ORCID 0000-0001-5455-5026
e-mail: lyashenko.vyacheslav@gmail.com

WAVELET COHERENCE AS A TOOL FOR RETROSPECTIVE ANALYSIS OF BANK ACTIVITIES

The article considers the possibility and expediency of using the apparatus of the theory of wavelets to conduct analysis of banking activities. The authors determine separate stages of the complex application of various tools on the theory of wavelets to analyze the activities of banks based on retrospective data. Among these stages are: decomposition of the initial data by their approximating coefficients and coefficients of detail, and the use of wavelet coherence.

Indicated the importance of conducting a retrospective analysis to reveal hidden relationships in the data structure that determine certain aspects of banking. The advantages of using the tools of the theory of wavelets from the point of view of analyzing the activities of banks based on their statistical data are highlighted. Among these advantages the authors highlight the possibility of studying the relationships between data over time and determining the depth of such relationships. It is noted that this can be done in one research window.

Particular attention is focused on the analysis of the reciprocity between the volume of funds in deposit accounts and the volume of loans granted, as one of the key parameters for conducting banking activities. The reciprocity between the volumes of funds in deposit accounts and the volumes of loans granted is revealed in accordance with the volumes of administrative expenses and equity of banks. It is noted that retrospective analysis allows us to identify the consequences of the onset of unwanted events and prevent them in the future.

To carry out a corresponding analysis, the content of constructing a description of spatial wavelet coherence is disclosed. Such a description makes it possible to take into account a larger number of parameters than classical approaches for calculating wavelet coherence. This expands the boundaries of the relevant analysis,



allows you to explore various mutual influences between individual banks in terms of their individual indicators for banking activities. Such an analysis allows to determine not only the reciprocity between individual indicators of banking activity, but also the depth of influence between individual banks, taking into account such indicators of their activity. Concrete examples are given that prove the feasibility and likelihood of applying the proposed approaches to the analysis of banking activities.

Keywords: wavelet coherence, banking, time series, deposits, loans, administrative expenses, equity

References

1. Vartsaba, V.I. (2018). Problems of securing financial stability of Ukrainian banking systems. *Naukovyj visnyk Uzhhorods'koho universytetu. Seriya Ekonomika – Science News of Uzhgorod University. Seriya Ekonomika*, 1: 51, 311-316. [https://doi.org/10.24144/2409-6857.2018.1\(51\).311-316](https://doi.org/10.24144/2409-6857.2018.1(51).311-316) [in Ukrainian].
2. Rushchishin, N.M., Kostak, Z.R. (2018). Banking system of Ukraine: current standard and future development. *Ekonomika i suspil'stvo – Economy and suspension*, 6, 783-789. Retrieved from http://economyandsociety.ua/journal/16_ukr/119.pdf [in Ukrainian].
3. Liang, D., Zhang, Y., Xu, Z., Jamaldeen, A. (2019). Pythagorean fuzzy VIKOR approaches based on TODIM for evaluating internet banking website quality of Ghanaian banking industry. *Applied Soft Computing*, 78, 583-594. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.03.006>
4. Affes, Z., Hentati-Kaffel, R. (2019). Predicting US banks bankruptcy: logit versus Canonical Discriminant analysis. *Computational Economics*, 2019, 54: 1, 199-244. <https://doi.org/10.1007/s10614-017-9698-0>
5. Sharma, S. K. (2019). Integrating cognitive antecedents into TAM to explain mobile banking behavioral intention: A SEM-neural network modeling. *Information Systems Frontiers*, 21: 4, 815-827. <https://doi.org/10.1007/s10796-017-9775-x>
6. Li, Y., Allan, N., Evans, J.R. (2017). A Nonlinear Analysis of Operational Risk Events in Australian Banks. *Journal of Operational Risk, Forthcoming*. Retrieved from <https://ssrn.com/abstract=2906327>
7. Saiti, B., Bacha, O.I., Masih, M. (2016). Testing the conventional and Islamic financial market contagion: evidence from wavelet analysis. *Emerging Markets Finance and Trade*, 52: 8, 1832-1849. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2015.1087784>
8. Edurkar, A., Shaikh, A. A. (2018). Application of Morlet Wavelet Transform for analysis of Business Practices of Foreign Banks in India. *Wealth: International Journal of Money, Banking & Finance*, 7: 1, 12-17.
9. Okeke, C., Nwude, E.C. (2018). A Statistical Simulation for the Profitability of Banks: A Study. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 8: 2, 243-254.



10. Affes, Z., Hentati-Kaffel, R. (2019). Predicting US banks bankruptcy: logit versus Canonical Discriminant analysis. *Computational Economics*, 54: 1, 199-244. <https://doi.org/10.1007/s10614-017-9698-0>
11. Vasyurenko, O., Lyashenko, V., Podchesova, V. (2014). Efficiency of lending to natural persons and legal entities by banks of Ukraine: methodology of stochastic frontier analysis. *Visnyk Natsional'noho banku Ukrainy – Herald of the National Bank of Ukraine*, 1, 5-11 [in Ukrainian].
12. Anwar, M. (2019). Cost efficiency performance of Indonesian banks over the recovery period: A stochastic frontier analysis. *The Social Science Journal*, 56: 3, 377-389. <https://doi.org/10.1016/j.soscij.2018.08.002>
13. He, F., He, X. (2019). A Continuous Differentiable Wavelet Shrinkage Function for Economic Data Denoising. *Computational Economics*, 54: 2, 729-761. <https://doi.org/10.1007/s10614-018-9849-y>
14. Lyashenko, V., Deineko, Z., Ahmad, A. (2015). Properties of wavelet coefficients of self-similar time series. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 6: 1, 1492-1499.
15. Heil, C.E., Walnut, D.F. (1989). Continuous and discrete wavelet transforms. *SIAM review*, 31: 4, 628-666. <https://doi.org/10.1137/1031129>
16. Grinsted, A., Moore, J.C., Jevrejeva, S. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11: 5/6, 561-566.
17. Lyashenko, V., Zeleniy, O., Mustafa, S. K., Ahmad, M. A. (2019). An Advanced Methodology for Visualization of Changes in the Properties of a Dye. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9: 1, 7111-7114. <https://doi.org/10.35940/ijeat.A1496.109119>