

Електронний журнал «Ефективна економіка» включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019). Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292. Ефективна економіка. 2023. № 5.

**DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2023.5.69>
УДК 336.71**

Т. Ю. Лелеко,

аспірант, Львівський національний університет ім.І.Франка , м.Львів

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7481-0685>

СТРЕС-ТЕСТУВАННЯ РИЗИКУ ЦИФРОВІЗАЦІЇ, ЯК СКЛАДОВОЇ ОПЕРАЦІЙНОГО РИЗИКУ

T. Leleko,

Postgraduate student, I. Frank Lviv National University

STRESS TESTING OF DIGITALIZATION RISK AS A COMPONENT OF OPERATIONAL RISK

Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, трансформаційні процеси цифрової економіки мають значний і різноманітний вплив на банки. Зміни в традиційній економіці створили нове бізнес-середовище під назвою «цифрова економіка». Зміни в бізнес-екосистемах впливають на стратегічні рішення банків, які пов'язані з внутрішнім і зовнішнім середовищем. Розмір і частота змін є параметрами, які роблять концепцію змін більш значущою. Тому дуже важливо вчасно та адекватно адаптувати моделі управління ризиками та ефективно впроваджувати превентивні заходи. Існують різні підходи до стрес-тестування. Було проведено огляд поширених методів стрес-тестування. Виокремлено основні недоліки методів. Для оцінки операційного ризику можна використовувати різні моделі, які не виключають одна одну. Різні моделі ризику слід розглядати як взаємодоповнюючі, а не як замітники одна одної. Підходи до стрес-

тестування класифікуються за методами розрахунку ризиків. Поширені методи стрес-тестування: зворотне стрес-тестування, байєсівське стрес-тестування, форвардне стрес-тестування, експоненціально зважене ковзне середнє (EWMA) або дельто-нормальний метод, метод Монте-Карло, метод EVT (теорія екстремальних значень). У статті розглянуто моделі стрес-тестів, які використовуються для управління операційним ризиком. Проведено бенчмаркінг методів стрес-тестування, виділено особливості конкретного методу. Надано практичні рекомендації щодо використання моделі стрес-тестування ризиків цифровізації. Ризик цифровізації розглядається, як складова операційного ризику. Але при його суттєвій реалізації пропонується модель окремого стрес-тесту. Щодо стрес-тестування ризику цифровізації в сучасній літературі немає окремих підходів. Зазвичай ризик цифровізації аналізують, як складову операційного ризику, з чим ми повністю погоджуємося, однак, на нашу думку, у разі критичної реалізації ризикових подій цифровізації (наприклад, тривалі збої інформаційних систем), може буде проведено оперативне стрес-тестування, і в цьому випадку ризик цифровізації слід аналізувати окремо, оскільки події ризику цифровізації стають факторами ризику, а не наслідками факторів ризику. Результати проведеного дослідження можуть бути корисними для комерційних банків в управлінні ризиками, а саме в управлінні ризиками цифровізації.

The development of information and communication technologies, the transformational processes of the digital economy, have a significant and varied impact on banks. Changes in the traditional economy have created a new business environment called the "digital economy". Changes in business ecosystems affect the strategic decisions of banks, which are related to the internal and external environment. The size and frequency of change are parameters that make the concept of change more meaningful. Therefore, it is very important to timely and adequately adapt risk management models and effectively implement preventive measures. There are different approaches to stress testing. An overview of common stress testing methods was conducted. The main shortcomings of the methods are highlighted. Different models can be used to assess operational risk, which are not mutually exclusive. Stress test models combine and vary depending on the objectives. Different risk models should be seen as complementary and not as

substitutes for each other. Stress testing approaches are classified according to risk calculation methods. Common stress testing methods: inverse stress testing, Bayesian stress testing, forward stress testing, exponentially weighted moving average (EWMA) or delto-normal method, Monte Carlo method, EVT method (Extreme Value Theory). The article discusses models of stress tests that are used to manage operational risk. Benchmarking of stress testing methods was carried out, specific features of a specific method were highlighted. Practical recommendations on the use of the digitalization risk stress testing model are provided. Digitalization risk is considered as a separate component of operational risk. But with its substantial implementation, a stress test model is proposed. Regarding the stress testing of digitalization risk, there are no separate approaches in the modern literature. Usually, digitalization risk is analyzed as a component of operational risk, with which we fully agree, however, in our opinion, in the case of critical implementation of digitalization risk events (for example, long-term failures of information systems), operational stress testing may be conducted, in which case digitalization risk should be to be analyzed separately, as digitalization risk events become risk factors and not the consequences of risk factors. The results of the conducted research can be useful for commercial banks in risk management, namely in the management of digitalization risks.

Ключові слова: бенчмаркінг методів стрес-тестування, ризик цифровізації, стрес-тестування, управління ризиками, цифрова економіка.

Key words: benchmarking of stress testing methods, the risk of digitization, stress testing, risk management, digital economy.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з головними практичними завданнями. Тракткування поняття «стрес-тестування» та історія регулювання стрес-тестування постійно вдосконалювалися.

Стрес-тестування є інструментом управління ризиками в умовах невизначеності та вирішує практичне завдання точного прогнозування витрат, які банки можуть понести при реалізації ризиків.

Стрес-тестування з'явилося на початку 1990-х років і було розроблено в основному окремими банками для внутрішнього управління ризиками та оцінки торговельної діяльності банку. Методи та функції стрес-тестів удосконалювалися з часом. Більшість методів стрес-тестування не були широкомасштабними і використовувалися як доповнення до інших статистичних інструментів, доступних керівництву банку для оцінки торговельної діяльності банку. Практика використання стрес-тестів для оцінки торгових портфелів була формалізована в 1996 році в Поправці про ринковий ризик до Базельської угоди про капітал (BCBS (1996)). Крім того, у 2004 році згідно з Базель II банки були зобов'язані застосовувати ретельне внутрішнє стрес-тестування [1].

Однак Базель II не був широко впроваджений, і було виявлено, що більшість моделей внутрішнього стрес-тестування все ще знаходяться в стадії розробки (BCBS (2009)). Крім того, стрес-тести зазвичай проводилися лише для окремих установ. Тим не менше, вже на початку 2000-х років почали розглядати можливість проведення загальносистемних стрес-тестів і узагальненого аналізу результатів на рівні банку на основі різних методологій і сценаріїв (CGFS (2000)) [3].

Більш послідовний підхід у контексті торгових портфелів почався з резолюції Базельського комітету 1996 року.

У регуляторному співтоваристві Базельський комітет з банківського нагляду (BCBS) переглянув практику (BCBS (2017)) і запропонував принципи надійного стрес-тестування ще в 2009 році, оновивши їх у 2018 році (BCBS (2009, 2018)). Політична спільнота також сприяла включенню макропруденційного виміру в стрес-тестування (див. BCBS (2015)) [2].

Тарасевич Н.В. (2014) визначає стрес-тестування як процес перевірки банківської системи на стійкість у разі можливої зміни певних умов її функціонування (за стресових умов)[15].

Щербатих Д.Б. (2018) визначає стрес-тестування як метод кількісної оцінки ризику [16], який полягає у визначенні розміру неузгодженої позиції,

яка наражає банк на ризик, і у визначенні значення шоку від зміни зовнішнього фактора: обмінного курсу, процентної ставки. і т.д. Наявність різних підходів та недосконалість прогнозів операційного ризику, обумовлює необхідність розгляду додаткових підходів до вирішення цього питання, затребуваність теми вивчення та визначає цільову спрямованість статті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для аналізу публікацій за запитом використовували інструменти Scopus, Web of Science та Google Scholar: «операційний ризик у банку», «ризик цифровізації в банку», «стрес-тестування банківських ризиків»

Починаючи з 1990 р. і до теперішнього часу (2023 р.) проблемі управління операційним ризиком в банку присвячено велику кількість публікацій. Базельський комітет підготував велику кількість рекомендацій і публікацій щодо вдосконалення методів управління ризиками, включаючи «операційні ризики», і багато вчених зробили значний внесок у дослідження з цього питання, наприклад Йон Даніельссон, який є автором серії дискусійних документів про ризики та моделі.

А питання «управління ризиками цифровізації в банку» є менш дослідженим. Перші публікації, де з'являється термін «цифровізація», датовані 2001 роком, але цей термін використовується в понятті «оцифрування». Що стосується впливу цифрової економіки на цифрову трансформацію бізнесу, то піонером тут є д-р Ерік К., чії дослідження присвячені систематичному вивченню трансформаційного впливу інформації на бізнес-стратегію та практику, а також змін, спричинених інформаційними технологіями. В останні роки з'явилися публікації, присвячені «ризиком цифровізації», але вони розрізнені та малоцитовані. І невелика кількість статей, присвячених саме «ризикам діджиталізації в банку» та впливу цифрової економіки на діяльність банків.

Найбільш цитовані статті присвячені питанню «управління ризиками цифровізації», наведені в таблиці 1

Таблиця 1

Назва статті	Автори	рік	Кількість цитувань
Improving process safety: What roles for Digitalization and Industry 4.0?	Lee, J., Cameron, I., & Hassall, M.	2019	133
Growth paths for overcoming the digitalization paradox	Gebauer, H., Fleisch, E., Lamprecht, C., & Wortmann, F.	2020	118
The future of bank risk management	Harle, P., Havas, A., & Samandari, H.	2016	105
A general framework of digitization risks in international business.	Luo, Y	2022	49

Постановка завдання. Метою статті є аналіз існуючих підходів до стрес-тестування операційного ризику та ризику цифровізації, виокремлення їх відмінностей. Надання рекомендацій щодо обґрунтованого вибору стрес-тестування для оцінки ризику цифровізації.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо основні підходи до методів стрес-тестування ризиків цифровізації, як складової операційного ризику. Найпоширенішими методами стрес-тестування є: зворотний стрес-тест, байєсівський стрес-тест, прямий стрес-тест, експоненціально зважене ковзне середнє (EWMA) або дельта-нормальний метод, метод Монте-Карло, метод EVT (теорія екстремальних значень).

Метод EVT (Теорія екстремальних значень) стверджує, що розподіл екстремальних значень x асимптотично збігається незалежно від базового батьківського розподілу до:

$$H_{\xi}(x) = \begin{cases} \exp \left[-\left(1 + \frac{\xi(x-\mu)}{\sigma}\right)^{-1/\xi} \right] * if * \xi \neq 0 \\ \exp \left[-e^{(x-\mu)/\sigma} \right] * if * \xi = 0 \end{cases} \quad (1)$$

де, ξ - максимальний індексний параметр послідовності, μ - величина порогу, і σ - максимальний стандартний параметр.

Параметри розподілу Парето можна оцінити за допомогою методу максимальної правдоподібності, методу регресії або інших відповідних методів. Метод максимальної правдоподібності є більш надійним, ніж інші методи, тому він був використаний у цьому дослідженні.

Узагальнений розподіл екстремальних значень (GEV) об'єднує три розподіли Фреше, Гамбеля та Вейбулла, зазвичай використовуються один.

Стрес-тестування методом Монте-Карло виглядає наступним чином:

1. Наявні дані використовуються для створення кумулятивної функції розподілу для кожної вхідної змінної.

2. Створюється порожня гістограма частотного розподілу, яка буде збільшуватися під час кожної ітерації.

3. Процес ітерації виконується:

- A. Переглядається кожна вхідна змінна, що використовується в метриці: використовується випадкове число від 0 до 1 за допомогою функції інтегрального розподілу, щоб отримати зважене значення для кожної вхідної змінної.

- B. Використовується зважене значення всіх вхідних змінних у метриці, щоб обчислити репрезентативну відповідь.

- C. Використовується репрезентативна відповідь, щоб визначити, який бін на остаточній гістограмі розподілу частот слід збільшити.

- D. Збільшується відповідний діапазон на гістограмі розподілу частот на 1.

4. Крок 3 повторюється, доки остаточна гістограма розподілу частот на кроці 3D не стане «гладкою».

5. Гістограма частотного розподілу нормалізується (утворюється дискретна функція розподілу ймовірностей), а потім створюється її дискретна кумулятивна функція розподілу (або дискретний розподіл ймовірностей).

Очікувані збитки (EL) для і-го напрямку діяльності та j-го типу події в заданий час можна розрахувати як очікуване значення розподілу загального збитку тобто де

$$EL_{ij} = E(v_{ij}), v_{ij} = \sum_{n=0}^{N_{ij}} \zeta_n(i, j) \quad (2)$$

де: ζ_{ij} - випадкова змінна, яка представляє висоту збиткової події і-го напрямку діяльності та j-го типу події; загальний розподіл важкості втрат ζ_{ij} позначається F_{ij} , N_{ij} - кількість подій для і-го напрямку діяльності та j-го типу події за заданий час; змінна N_{ij} має функцію ймовірності P_{ij} ; крім того, загальний розподіл частоти втрат P_{ij} , для $n \in (0, \infty)$.

$$P_{ij}(n) = \sum_{k=0}^n p_{ij}(k) \quad (3)$$

$E(v_{ij})$ - можна розрахувати наступним чином:

$$E(v_{ij}) = E[E(v_{ij}|N_{ij})] = E(N_{ij}) \times E(\zeta(i, j)) \quad (4)$$

Після визначення EL_{ij} неочікувана втрата UL_{ij} для даного довірчого інтервалу, представленого α , може бути розрахована за формулою:

$$UL_{ij}(\alpha) = G_{ij}^{-1}(\alpha) - EL_{ij} = G_{ij}^{-1}(\alpha) - E(v_{ij}) \quad (5)$$

де, $G_{ij}^{-1}(\alpha)$ - агрегований розподіл збитків $G_{ij}(\alpha)$, де x - загальні втрати сума; $G_{ij}^{-1}(\alpha) = \inf\{x | G_{ij}(x) \geq \alpha\}$, тобто це найменша загальна сума збитку для і-го напрямку діяльності та j-го типу події, де $G_{ij}(x) \geq \alpha$. Дуже важливим, але складним для контролю точності $G_{ij}^{-1}(x)$.

$G_{ij}(x)$ є складений розподіл:

$$G_{ij}(x) = \begin{cases} \sum_{n=1}^{\infty} p_{ij}(n) F_{ij}^n(x) & x > 0 \\ p_{ij}(0) & x = 0 \end{cases} \quad (6)$$

де F_{ij}^n є n - кратною згорткою F з самою собою (є оператором згортки).

Стрес-тестування Дельта-нормальним методом полягає в виявленні факторів, що впливають на вартість активу та апроксимацію вартості активу на основу цих факторів. Базується на так званому локальному оцінюванні, тобто на лінійній або більш складній апроксимації функції вартості фінансового інструмента [6].

Для нормального розподілу щільність:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

де m – математичне очікування, а σ^2 - дисперсія розподілу. В цьому випадку:

$$VAR_{\gamma} = m + k_{1-\gamma} \sigma \quad (8)$$

де $k_{1-\gamma}$ квантиль порядку $(1 - \gamma)$ для стандартного нормального розподілу.

Основні недоліки методу:

1) він повністю відображає характеристики волатильності реальних фінансових даних. Дослідження підтверджують: зміна волатильності у часі, її кластеризацію, асиметрію чи ефект важеля. Тому що за періодом високої волатильності слідує період низької волатильності і навпаки. Модель EWMA дозволяє вловлювати зміну волатильності в часі та її кластеризацію, але не бере до уваги ефект важеля;

2) припущення про розподіл не відповідає характеристикам фінансових доходностей реальних ринків. Фактичні дані часто мають негативний коефіцієнт асиметрії (асиметрія вліво), високий коефіцієнт ексцесу, що характеризується появою піків та важкими хвостами розподілу. Величина фактичних втрат може виявитися значно вище, прогнозованою в припущенні про нормальний розподіл [7].

Під час зворотного стрес-тестування бажаний рівень стресу в цільовій метриці визначається заздалегідь, і обчислюються необхідні перетворення даних для досягнення цього рівня стресу. Загальну процедуру зворотного стрес-тестування можна представити як задачу оптимізації. У цьому рівнянні, $\hat{V}$ - є цільовим значенням метрики (наприклад, капіталу) і $E(V(t)|\omega)$ - це очікуване значення метрики в момент часу t залежно від певного сценарію ω , взяті з набору можливих сценаріїв Ω . У контексті операційного ризику бінарний пошук є ефективним методом оптимізації: [8].

$$\hat{\omega} = \{\omega \in \Omega | E(V(t)|\omega) - \hat{V}\} \quad (9)$$

Байєсівське стрес-тестування, яке концептуально відрізняється від інших, та використовує байєсовські мережі [9]. Мережі Байєса використовують заздалегідь визначену мережу, що представляє всі події в рамках заданого сценарію. Байєсові мережі покладаються на властивість спільного розподілу n змінних $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, наведену в рівнянні $f(x_i|\hat{x}_i)$, де $\hat{x}_i$ - розподіл, з урахуванням його батьківського вузла $\hat{x}_i$. Умовна ймовірність кореневого вузла співпадає з його граничною ймовірністю: $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n f(x_i|\hat{x}_i)$ [10]. На практиці швидко і легко змінити умовні ймовірності в байєсівських мережах. Однак їх часто дуже важко кількісно визначити, а структурні зміни в мережі вимагають перерахунку ймовірності.

Основу "форвардного", або якщо дослівно переводити «передового» стрес-тестування детально описано британським вченим, доктором філософії Матіасом Дреманном [11]. Процес складається з чотирьох етапів: генерація сценарію, розробка факторів ризику, розрахунок ризику та вимірювання результуючого ризику. Етапи 2 і 3 цієї послідовності можна підсумувати рівнянням $V_t = v(\lambda_t, x_t)$, де v представляє алгоритм, який обчислює V_t ,

капітал у момент часу t . Аргументами v є два вектори, обидва в момент часу t : втрати x_t і коефіцієнти стресу λ_t .

Сценарний аналіз (Scenario Analysis) застосовується у вигляді судження працівниками підрозділів першої лінії захисту, відділом управління операційними ризиками, які визначають імовірність подій операційного ризику, які можуть впливати на банк. Сценарний аналіз спирається на припущенні що настання певних подій (факторів ризику) та направлений на оцінку стратегічних перспектив.

Сценарні моделі можна поділити на:

- однофакторну модель (аналіз чутливості), яка ґрунтується на впливі одного ризик-фактору на вартість портфеля не враховуючи зміну інших факторів.

- багатфакторна модель, яка ґрунтується на впливі багатьох факторів та в якій оцінюються багатокomпонентні сценарії тестування.

Багатфакторну модель можна поділити на наступні підвиди:

- а) історична, сценарії якої побудовані на історичних даних. (зміни даних які були збережені в базі банку та демонструються попередні періоди, включаючи періоди, які були під час екстремальних, кризових явищ)

- б) гіпотетична модель, яка розроблена на основі гіпотетичного екстремального чи кризового сценарію.

Як базову модель зазвичай приймають історичний аналіз, а гіпотетичну модель використовують коли є необхідність змодельовати певні фактори ризику, які змодельюють можливий сценарій з врахуванням потрібних факторів.

Для оцінки операційного ризику можна використовувати різні моделі, які не є взаємовиключними. Моделі стрес-тестів поєднують та змінюються залежно від цілей. Різні моделі ризику слід розглядати як взаємодоповнюючі, а не як замітники одна одної. Як показано в таблиці 2, жодна модель не є панацеєю від усіх ризиків, з якими стикаються комерційні банки.

Таблиця 2. Компаративний аналіз моделей стрес-тестування

Тип моделі	цілі	Сильні сторони	обмеження
Метод EVT	Внутрішній контроль /управління капіталом	Метод простий для розуміння, легкий для налаштування, може виявити структурні обмеження	В методі проігноровано залежності між факторами ризику. Довільність у виборі факторів ризику тощо
Метод Монте-Карло Дельта-нормальний метод (EWMa) Метод зворотного стрес-тестування Байєсівське стрес-тестування Форвардне стрес-тестування	Внутрішній контроль	Метод використовується при поточному (контролі) аналізі ризиків	Потрібно чітко визначена система, в якій наслідки передбачено впливають із попередніх подій. Тест може бути надзвичайно складним.
Сценарний аналіз	зростання	Метод зосереджений на довгостроковій стратегії з великою невизначеністю. Простий у використанні.	Дуже суб'єктивний і потенційно трудомісткий.

Джерело: складено автором самотійно

Крім основних інструментів банк має право використовувати такі додаткові інструменти: вимірювання (Measurement).

Вимірювання (Measurement) застосовується працівниками підрозділів першої лінії захисту, відділом управління операційними ризиками у вигляді математичної моделі оцінки можливих витрат від операційного ризику на підставі статистичних даних щодо подій операційного ризику [12].

Операційний ризик дуже відрізняється від інших банківських ризиків, бо в процесі його вимірювання і регулювання увага приділяється фактам, які скоріше відображають відхилення, ніж нормальний хід подій. Це і обумовлює складність моделювання операційного ризику. Найважливішою передумовою моделювання є наявність статистичних даних про об'єкт моделювання, що для операційних ризиків є серйозною проблемою. Пояснюється це малою частотою прояву значної частини операційних ризиків. Внаслідок цього, створення статистичної бази за випадками шахрайства у конкретному банку

вимагатиме досить тривалого періоду часу. Побудова ж статистичної бази в рамках всієї банківської системи чи її частин може бути проблематичною задачею через можливе приховування банками подібних випадків [13].

Слід зазначити, що окремі (як правило, дуже значні) події операційного ризику, як, наприклад, критичні події ризику цифровізації (наприклад довготривалі збої інформаційних систем), можуть бути виокремленні, як фактори окремого сценарію. У такому разі, вплив цих подій на Банк доцільно аналізувати окремо, а самі події виключаються з сценаріїв та моделей стрес-тестування операційного ризику.

Щодо стрес-тестування ризику цифровізації, у сучасній літературі відсутні окремі підходи. Зазвичай, ризику цифровізації аналізують, як складову операційного ризику, з чим ми цілком згодні, проте на нашу думку, при критичній реалізації подій ризику цифровізації (наприклад, довготривалі збої інформаційних систем) може бути проведене оперативне стрес-тестування, у такому випадку ризик цифровізації потрібно аналізувати окремо, оскільки події ризику цифровізації стають факторами ризику, а не наслідками дії факторів ризику.

Вважаємо, що для вимірювання окремих значних подій ризиків цифровізації доцільно використовувати метод динамічного оцінювання. Динамічне оцінювання відрізняється від статичного передбаченою можливістю оцінювання ризиків у явному вигляді в динаміці, тобто прогнозування функції втрат і ймовірність ризику [14].

"Закон розподілу Пуассона" (закон рідкісних подій). Розглянемо схему Бернуллі, в якій кількість випробувань n є великим числом, а ймовірність p події A є дуже малим числом ($0,1 < p$). Тоді випадкова величина (число прояву події A) набуває значень $0,1,2,\dots,n$ з ймовірностями, які обчислюють за формулою Пуассона:

$$P(X = m) = \frac{\lambda^m}{m!} e^{-\lambda}, \lambda = np, m = 0,1,2, \dots, n. \quad (10)$$

У цьому випадку величина X має розподіл Пуассона (з параметром, $\lambda = np$), для якого числові характеристики визначаються так:

$$M(X) = D(X) = \lambda, \sigma(X) = \sqrt{\lambda} \quad (11)$$

Зокрема, ймовірність того, що подія A відбудеться m разів за час t , визначають за формулою:

$$P(X = m) = \frac{(\lambda t)^m}{m!} e^{-\lambda} \quad (12)$$

де np - середнє число появи $= \lambda$ події A за одиницю часу [15].

При цьому вибірка найбільш вірогідних подій обирається шляхом розподілу. У практиці управління ризиками найбільш широко використовуються розподіли Фреше (Frechet) (до даного класу також входять t -розподіл (Стюдента) й розподіл Парето), Гумбеля (Gumbel) та Вейбулла (Weibull) [16].

Вважаємо, що для вибірки найбільш вірогідних подій, слід використовувати двопараметричний закон Вейбулла.

Розподіл Вейбула – достатньо гнучка функція, здатна добре вирівнювати різноманітну статистику відмов. На відміну від багатьох інших, він більш універсальний, оскільки для певних значень параметрів він може трансформуватись в експоненціальний (показниковий) розподіл, нормальний та ін. [17].

Закон Вейбула дозволяє використовувати дослідження інтенсивності відмов, тобто імовірності подій протягом малого інтервалу часу при умові, що на початку інтервалу події не відбулося. Розподіл Вейбула визначається за формулою:

$$F(x; k, \lambda) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, \text{ при } x \geq 0, \text{ и } F(x; k; \lambda) = 0 \text{ при } x < 0 \quad (13)$$

Для проведення стрес-тестування ризику цифровізації, згідно рекомендацій затвердженої методики, описаної в постанові №64 НБУ, при розгляді ризику цифровізації, як окремого ризику від'ємного від операційного, при умовах можливості його масштабної реалізації, слід

скласти перелік факторів та припущень, що використовуються під час здійснення стрес-тестування.

Після проведення стрес-тесту оцінюється вплив факторів ризиків на нормативні показники та капітал банку. При чому втрати аналізуються за двома або більше сценаріями. У дослідженнях НБУ, наприклад, використовуються два сценарії: базовий в якому використано публічні прогнози НБУ; несприятливий сценарій розроблено НБУ таким чином, щоб він був співставний із сценаріями провідних центральних банків [18].

На нашу думку, доцільно використовувати три сценарії: базовий, несприятливий, та кризовий (який імітує масштабну кризу: військовий стан, стихійне лихо, пандемію).

Також, на нашу думку, важливо використовувати на постійній основі бенчмаркінг та оцінку ефективності моделей стрес-тестування.

Щодо складнощів моделювання операційних ризиків, ризиків цифровізації, їхній прояв характеризується високою невизначеністю, тому ще деякі події є дуже значними та рідкісними. Що характеризується на практиці короткою довжиною наборів даних, які використовуються для оцінки, і труднощами у визначенні відповідних дат для подій операційних втрат. Деякі види операційних втрат, наприклад внутрішнє шахрайство, можуть відбуватися непоміченими протягом тривалого часу. Тоді як інші види операційних втрат, наприклад судові справи, часто призводять до виплат через роки після дати виникнення. Таким чином, моделі операційного ризику, які використовуються під час стрес-тестування, часто чутливі до припущень моделювання та змін даних. Для оцінки обґрунтованості своїх прогнозів збитків і зниження ризику моделі, банки зазвичай використовують контрольні показники.

Проблема оцінки обґрунтованості прогнозів стає ще складнішою при використанні, моделі прогнозів, яка ґрунтується на суб'єктивних оцінках. (Таких, наприклад, як сценарний аналіз). Оцінки отримані від експертів бізнес-ліній, по суті є суб'єктивним баченням, хоча вони і керуються

підходами, які спрямовані на неупередженість. Залежність від суб'єктивних підходів до управління ризиками, це новий виклик для ризик-менеджерів, тому що оцінка ризику на основі якісних методів є більш складною в плані похибки, ніж кількісних моделей.(які в свою чергу дозволяють встановити бажаний рівень достовірності). Крім того, реалізація ретроспективного тестування або іншого аналізу результатів для якісних підходів, як правило, є складнішою, оскільки вимагає бенчмаркенгу аналогічних результатів якісної моделі.

Висновки та перспективи подальших досліджень: В статті проведено теоретико-методологічне дослідження аспектів управління ризиками в умовах цифрової економіки, що дало можливість прийти до наступних висновків:

1. Проаналізовано існуючі підходи до вибору показників при стрес-тестуванні. На нашу думку, перелік показників не повинний бути фіксованим та визначатися банком окремо у кожному стрес-тестуванні. Та до рекомендованого переліку показників, для оцінки ризику цифровізації, який є складовою операційного ризику потрібно додати: збитки від невдалої обробки транзакцій; недостатня кількість ІТ персоналу, недостатній розвиток цифровізації банківську та слабка конкурентна позиція (розрахунок за даними звіту "оборотньо-сальдового балансу": витрати на утримання власних основних засобів і нематеріальних активів; витрати на маркетинг та рекламу; витрати на підготовку кадрів.)

2. Проведено компаративний аналіз моделей стрес-тестування. Щодо стрес-тестування ризику цифровізації, у сучасній літературі відсутні окремі підходи. Зазвичай, ризик цифровізації аналізують, як складову операційного ризику, з чим ми цілком згодні, проте на нашу думку, при критичній реалізації подій ризику цифровізації (наприклад, довготривалі збої інформаційних систем) може бути проведене оперативне стрес-тестування, у такому випадку ризик цифровізації потрібно аналізувати

окремо, оскільки події ризику цифровізації стають факторами ризику, а не наслідками дії факторів ризику. Виокремлені недоліки існуючих підходів та запропоновано методичний підхід до оцінки ризику цифровізації

Література

1. Basel Committee on Banking Supervision. Amendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risks [\[Link\]](#)
2. Baudino, P., Goetschmann, R., Henry, J., Taniguchi, K., & Zhu, W. (2018). Stress-testing banks: a comparative analysis. Bank for International Settlements, Financial Stability Institute. [\[Google Scholar\]](#)
3. Blaschke, W., Jones, M. T., Majnoni, G., & Martinez Peria, M. S. (2001). Stress testing of financial systems: an overview of issues, methodologies, and FSAP experiences. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
4. Tarasevich, N. V., & Lytvynenko, A. M. (2014). Anti-crisis management of banks in modern conditions. Economics and management organization, (1-2). [\[Google Scholar\]](#)
5. Shcherbatykh, D. V. (2018). Modern methods of stress testing of the banking system of Ukraine. Economy and society, (19), 1210-1218. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
6. Пернарівський, О. В., & Пернарівська, О. О. (2018). Методи оцінювання ризиків у банківській діяльності. Methods of risk's evaluation in banking. [\[CrossRef\]](#)
7. Drobysh, I. I. (2018). Modern methods for calculating the value of Value at Risk in assessing market risks. Proceedings of the Institute for System Analysis of the Academy of Sciences, 68(3), 51-62.
8. Grundke, P. (2011). Reverse stress tests with bottom-up approaches. The Journal of Risk Model Validation, 5(1), 71. URL: <https://www.risk.net/journal-risk-model-validation/2161312/reverse-stress-tests-bottom-approaches>
9. Rebonato, R. (2010). A Bayesian approach to stress testing and scenario analysis. Journal of Investment Management, Third Quarter.
10. (n.d.). Dodd-Frank Act Stress Test 2019: Supervisory Stress Test Methodology. Federal Reserve System. URL:

<https://www.federalreserve.gov/publications/files/2019-march-supervisory-stress-test-methodology.pdf>

11. Drehmann, M. (2009). Macroeconomic stress testing banks: A survey of methodologies. Stress testing the banking system: Methodologies and applications, 37-67.

12. (n.d.). Risk Measurement and Systemic Risk. BIS. URL: <https://www.bis.org/cgfs/conf/mar02.htm>

13. Дмитрова, О. С., Гончарова, К. Г., Медвідь, Т. А., Бойко, А. О., Вахнюк, С. В., Медведь, Т. А., & Вахнюк, С. В. (2010). Моделювання оцінки операційного ризику комерційного банку.

14. Кузнєцова, Н. В., & Бідюк, П. І. (2017). Динамічне моделювання фінансових ризиків. Індуктивне моделювання складних систем.

15. Дюженкова, О. Ю., Дудкін, М. Є., & Степахно, І. В. (2021). Теорія ймовірностей. Навчальний посібник.

16. Ребрик, М. А. (2014). Методичне забезпечення стрес-тестування ринкових ризиків банків.

17. Полянський, С. К., & Лесько, В. І. (2010). Розрахунок показників надійності машин за статистичними даними Рецензенти: ЛЄ Пелевін, д-р техн. наук, професор ЮХ Савін, канд. техн. наук, доцент АС Жерновий, канд. техн. наук, доцент.

18. (n.d.). Дослідження стрес-тестування банків у 2021 році. НБУ. URL: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Stress_test_2021.pdf?v=4

References

1. Basel Committee on Banking Supervision (1996), “Amendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risks”, available at: <https://www.bis.org/publ/bcbs24.pdf> (Accessed 20 April 2023).

2. Baudino, P. Goetschmann, R. Henry, J. Taniguchi, K. and Zhu, W. (2018), “Stress-testing banks: a comparative analysis”, Bank for International Settlements, Financial Stability Institute.

3. Blaschke, W. Jones, M.T. Majnoni, G. and Martinez Peria, M.S. (2001), “Stress testing of financial systems: an overview of issues, methodologies, and FSAP experiences”, available at:

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=879626 (Accessed 20 April 2023).

4. Tarasevich, N.V. and Lytvynenko, A.M. (2014), “Anti-crisis management of banks in modern conditions”, Economics and management organization, vol. (1-2).

5. Shcherbatykh, D.V. (2018), “Modern methods of stress testing of the banking system of Ukraine”, Economy and society, vol. (19), pp. 1210-1218, available at: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/06/Ekonomika-i-suspilstvo-19-2018.pdf#page=1210> (Accessed 20 April 2023).

6. Pernarivs'kyj, O.V. and Pernarivs'ka, O.O. (2018), “Methods of risk's evaluation in banking”, available at: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/07/Pernarivskij-O.V.-Pernarivska-O.O.-1.pdf> (Accessed 20 April 2023).

7. Drobysh, I.I. (2018), “Modern methods for calculating the value of Value at Risk in assessing market risks”, Proceedings of the Institute for System Analysis of the Academy of Sciences, vol. 68 (3), pp. 51-62.

8. Grundke, P. (2011), “Reverse stress tests with bottom-up approaches”, The Journal of Risk Model Validation, vol. 5 (1), pp. 71-90, available at: <https://www.risk.net/journal-risk-model-validation/2161312/reverse-stress-tests-bottom-approaches> (Accessed 20 April 2023).

9. Rebonato, R. (2010), “A Bayesian approach to stress testing and scenario analysis”, Journal of Investment Management, Third Quarter.

10. Federal Reserve System (2019), “Dodd-Frank Act Stress Test 2019: Supervisory Stress Test Methodology”, available at: <https://www.federalreserve.gov/publications/files/2019-march-supervisory-stress-test-methodology.pdf> (Accessed 20 April 2023).

11. Drehmann, M. (2009), “Macroeconomic stress testing banks: A survey of methodologies”, Stress testing the banking system: Methodologies and applications, pp. 37-67.

12. BIS (2002), “Risk Measurement and Systemic Risk”, available at: <https://www.bis.org/cgfs/conf/mar02.htm> (Accessed 20 April 2023).

13. Dmytrova, O.S. Honcharova, K.H. Medvid', T.A. Bojko, A.O. Vakhniuk, S.V. Medved', T.A. and Vakhniuk, S.V. (2010), Modeliuvannia otsinky operatsijnoho ryzyku komertsijnoho banku [Modeling of assessment of operational

risk of a commercial bank], Ukrains'ka akademiia bankivs'koi spravy Natsional'noho banku Ukrainy, Sumy, Ukraine.

14. Kuznietsova, N.V. and Bidiuk, P.I. (2017), “Dynamic modeling of financial risks. Inductive modeling of complex systems”, available at: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Imss_2017_9_15 (Accessed 20 April 2023).

15. Diuzhenkova, O.Yu. Dudkin, M.Ye. and Stepakhno, I.V. (2021), *Teoriia ymovirnostej* [Probability theory], KPI, Kyiv, Ukraine.

16. Rebryk, M.A. (2014), “A stress testing framework for bank's market risks”, available at: <http://global-national.in.ua/archive/2-2014/233.pdf> (Accessed 20 April 2023).

17. Polians'kyj, S.K. and Les'ko, V.I. (2010), “Calculation of machine reliability indicators based on statistical data”, *Rozrakhunok pokaznykiv nadiynosti mashyn za statystychnymy danymy*, KNUBA, Kyiv, Ukraine.

18. NBU (2021), “Research on bank stress testing in 2021”, available at: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Stress_test_2021.pdf?v=4 (Accessed 20 April 2023).

Стаття надійшла до редакції 27.04.2023 р.