

DOI: <https://doi.org/10.32782/2521-666X/2023-83-24>
УДК 336.332

Стулей В.А.

кандидат математичних наук,
доцент кафедри штучного інтелекту
Інституту прикладного системного аналізу,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Подеряко А.Г.

аспірант, асистент кафедри фінансів,
банківської справи та страхування,
Університет митної справи та фінансів

Гожеляк О.

виконавчий директор
Frontera Emerging Markets

Stulei Volodymyr

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Poderiako Andrii

University of Customs and Finance

Gorzelak Aleksander

Frontera Emerging Markets

**ПРОБЛЕМАТИКА ОЦІНКИ МАКРОЕКОНОМІЧНОГО ВПЛИВУ
НА ЙМОВІРНІСТІ КРЕДИТНОГО ДЕФОЛТУ
В УМОВАХ ВИСОКОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

**THE PROBLEM OF ASSESSING THE MACROECONOMIC IMPACT
ON THE PROBABILITY OF CREDIT DEFAULT
IN CONDITIONS OF HIGH UNCERTAINTY**

У статті формалізовано один з можливих методологічних підходів до створення математичних моделей ймовірності кредитного дефолту. Констатується значний дефіцит досвіду такого моделювання, як під час війни з росією, так і в умовах високої невизначеності під час подальшого відновлення економіки України в середньостроковій перспективі. Обґрунтовано необхідність повного перегляду методології оцінки ймовірності кредитного дефолту в умовах високої невизначеності в ризиковому економічному середовищі, обумовленому військовими діями та планами подальшого відновлення економіки. Визначено, що нова методологія повинна не тільки враховувати брак історичних даних для валідації відповідних моделей, а й спиратися на моделі оцінювання з певними додатковими властивостями. Пропонуються шляхи подальших досліджень цієї проблеми.

Ключові слова: ймовірність кредитного дефолту, висока невизначеність, моделі оцінки ймовірності дефолту, фінансові інструменти, кредитний ризик, відновлення економіки.

The article analyzes the current state of scientific and practical approaches to assessing the probability of credit default of financial instruments. The main scientific and practical issues related to the assessment of PD PIT financial instruments in the conditions of large-scale military aggression by Russia are defined. Specific requirements for the methodology of creating more adequate models for assessing the probability of credit default on the PIT basis, i.e. taking into account the influence of macroeconomic factors on this indicator, were also determined. The research was carried out and the process of creating mathematical models was formalized to determine the probability of credit default in the context of the impact of macroeconomic processes caused by catastrophic, but not shock, changes in the economic system and its subsequent partial recovery due to military events. The authors concluded that there is currently a significant shortage of simulation experience in military settings, which makes it difficult to develop an adequate assessment methodology. The possibility of building a complex family of PIT_{TTC} models, which directly relate system-sensitive probabilities to the corresponding PD TTC stress values, was investigated. The possibilities and limitations of the application of the PIT_{TTC} family of models to determine the probabilities of credit default in conditions of high uncertainty caused by the war, which is still ongoing, are analyzed. Thus, this work substantiates the need

for a complete revision of the methodology for assessing the probability of credit default in conditions of high uncertainty in the risky economic environment caused by military actions. It is also determined that the new methodology should solve the problem not only of the lack of historical data for the validation of relevant models, but also to create new assessment models that should correspond to the current crisis state of the Ukrainian economy. The work suggests specific ways for further research into this problem.

Key words: *credit default probability, high uncertainty, default probability assessment models, financial instruments, credit risk, economic recovery.*

Постановка проблеми. Україна потерпає від широкомасштабної військової агресії РФ, що обумовлює катастрофічне погіршення макроекономічних показників, зростання ризиків, в тому числі кредитних, які вкрай негативно впливають на стабільність фінансової системи. З іншого боку залишається невідомим комплекс післявоєнних проблем, що створює високу невизначеність щодо процесів відновлення України, що також впливає на кредитний ризик.

Традиційним компенсатором кредитного ризику є адекватне формування резервів під очікувані збитки (ECL), що зокрема регулюється МСФЗ 9 [1]. При цьому одним з основних параметрів кредитного ризику на кожну звітну дату є PD – ймовірність кредитного дефолту, що традиційно позначається як PD PIT (Point In Time). За відповідною моделлю прогнозування цей показник визначається як динамічний часовий ряд, зважений за ймовірностями макроекономічних сценаріїв.

За іншими моделями розраховуються ймовірність кредитного дефолту PD TTC (Through-the-Cycle) за вимогами центральних банків для визначення величини кредитного ризику – CR [2–4].

Створення вказаних вище моделей оцінювання PD передбачає економетричне моделювання, валідацію тощо [5; 6] із використанням історичних даних для застосування статистичних методів аналізу даних. Проте війна призвела до кардинальних змін в економічному середовищі України, що унеможливило використання практично всіх PD-моделей, які були верифіковані на статистичних даних довоєнного періоду. Однак збереження адекватності оцінок ECL та CR залишається вкрай важливою задачею забезпечення стійкості фінансової системи України до викликів війни, а в подальшому до нових випробувань щодо відновлення економіки.

Таким чином в умовах широкомасштабної військової агресії та в подальших процесах відновлення слід відмовитися від PD моделей, побудованих в довоєнних умовах. Тому задача перегляду методологічної основи моделювання PD є актуальною науково-практичною проблемою, що потребує найскорішого вирішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Жоден з підходів до оцінки ймовірності кредитного дефолту не є універсальним, особливо коли мова

йде про оцінку на PD макроекономічного впливу в умовах високої невизначеності.

Найбільш широке практичне застосування отримали рейтингові моделі PD, започатковані Тамари М. [7], що класифікують позичальників за рівнем ризику на основі зовнішніх або внутрішніх рейтингів (IRB-підхід). Такий підхід в подальшому був розвинутий в роботі Мозеса Д. та Ліао С. [8] з розрахунком нормативних показників на основі однозмінного аналізу, Дюраном Д. [9] за допомогою оцінювання фінансового стану підприємства на основі кредитного скорингу з інтегральною оцінкою.

До моделей заснованих на ринкових даних відносять моделі скорочених форм (RF-моделі) та структурні моделі. RF-моделі, що вперше запропоновані в роботах Джонкарта М. [10], Ібена Т. та Літермана Р. [11] для визначення PD, використовують дані про кредитні спреди та вартість фінансових інструментів, де кредитний спред трактується як компенсація за ризик дефолту. В подальших роботах Гренад'єра С. і Холла В. [12], Лонгстаффа Ф. і Шварца Е. [13], Даса С. і Туфано П. [14] був врахований ризик зміни процентних ставок та ринковий ризик. Модель оцінки PD зі спреду боргових зобов'язань компанії оприлюднена Джерроу Р. [15].

Основна ідея структурних моделей полягає в тому, що вартість акцій компанії можна розглядати як опціон Call на активи компанії з ціною угоди, що дорівнює вартості її зобов'язань (Блек Ф., Шоулз М. [16], Мертон Р. [17]). Васічек О. [18], адаптував моделі одного активу Мертона та виявив функцію, що перетворює безумовні PD у такі, що залежать від одного систематичного фактору ризику, що заклало основи підходу IRB до достатності капіталу для кредитного ризику.

Найбільш відомою моделлю на основі фінансової звітності та якісних показників діяльності компанії є Z-модель Альтмана Е. [19]. Моделі цього класу у вдосконаленій формі досі використовуються банками, зокрема Національним банком України [2]. O-модель Ольсона Д. [20] та CHS-модель [21] є логіт-моделями, а в моделі CHS додатково використовуються ринкові предиктори.

Вплив макроекономічних факторів на ймовірність дефолту розглядається або на основі TTC, або як PIT-оцінка [22]. PD TTC розглядають як постійну величину „усереднену” в різних економічних

умовах, але впродовж одного економічного циклу, на відміну від поточної РІТ оцінки, яка змінюється вслід за зміною стану економіки. Зазвичай такі моделі побудовані на регресійній залежності від предикторів економічного стану (ВВП, інфляція, курс національної валюти, рівень безробіття тощо). При цьому вирізняють моделі в основі яких лежать екзогенні [23] або ендогенні фактори (Уїлсон Т. [24; 25]), а межі використання моделей на основі ТТС та РІТ досліджуються в роботі Джейкобса М. [26].

Використовуються також методи оцінки РД на основі теорії нечітких множин (Rough set theory) [27], що, як правило, ґрунтується на відповідних експертних оцінках.

Моделі також можуть будуватися або на індивідуальній або на колективній основі, яка також називається портфельною. При цьому аналіз може здійснюватися як узагальнено за деякий період (статичні моделі), так і з урахуванням часової динаміки змінних моделі (динамічні моделі). Статичні моделі досліджуються, як правило, відповідними методами статистичного аналізу даних, а динамічні моделі за допомогою методів аналізу стаціонарних та нестаціонарних динамічних рядів. Окремо зазначимо, що моделі типу ланцюгів Маркова [28], The roll rate model [29], Vintage models [30] та Cox PH модель із залежними від часу коваріатами [31] враховують час неявно, а за допомогою фіксації змін в стані портфелю. Так, наприклад, в Cox PH моделі час вимірюється взагалі не за календарною шкалою, а за внутрішньою відносною шкалою до події дефолту, якщо він стався, або до моменту цензурування.

В огляді не розглядалося застосування нейронних мереж, оскільки відсутні якісні дані про досвід поведінки економіки та позичальників саме в тих умовах високої невизначеності, що розглядається в роботі.

Таким чином, в залежності від стейкхолдера ймовірність кредитного дефолту фінансових інструментів може оцінюватися або як стресова (ТТС), або як системно чутлива (РІТ) величина. Ці дві оцінки мають розраховуватися за допомогою різних моделей, що вибираються з сімейств моделей ТТС та РІТ відповідно. Можна також побудувати комплексне сімейство моделей $PIIT_{TTC}$, які безпосередньо пов'язують системно чутливі ймовірності з відповідними стресовими значеннями РД ТТС одного позичальника або портфеля позичальників.

Мета статті. Мета публікації полягає у визначенні основної проблематики моделювання РД РІТ як в умовах війни, так і в період відновлення України, а також у визначення вимог до методології побудови нових більш адекватних моделей такої оцінки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно з висновками проведеного аналізу останніх досліджень і публікацій, з нашої точки зору, використання сімейства $PIIT_{TTC}$ надає найбільшу гнучкість моделювання, а також суттєво знижує його складність та вартість, що прямо передбачено принципом МСФЗ 9 – «без надмірних зусиль». Дійсно, можна спочатку оцінити РД за стандартною моделлю, а потім вибрати модель сімейства $PIIT_{TTC}$, наприклад, модель Васічека [18], що відповідає цілям МСФЗ 9, хоча ця модель використовується в Basel II [32] також для регуляторних цілей.

Одним з основних недоліків методики моделювання на сімействі $PIIT_{TTC}$, на нашу думку, є досить мала кількість моделей-кандидатів для здійснення відповідного вибору. Саме тому розробка нових адекватних моделей в сімействі $PIIT_{TTC}$ є актуальним науково-практичним завданням, особливо в поточних умовах кризового переформатування всього економічного середовища України та в довготривалий період післявоєнного відновлення.

Для оцінювання прогнозової динаміки РД РІТ суб'єкт господарювання має визначити прогнозні значення макроекономічних агрегатів $M_{sn}(t)$, де t – момент часу, в якому визначається відповідна величина $n = 1, N$ із множини N макроекономічних агрегатів, що обрані у якості предикторів для РД РІТ за деяким сценарієм s з ймовірністю його настання p_s ($\sum p_s = 1$). Звичайно за вимогами до управління модельним ризиком структура макроекономічних предикторів може мати певні обмеження, наприклад, на міжфакторну колінеарність за Ферраром-Глобером [33].

Нехай t_0 – момент розрахунку динаміки РД РІТ, тоді впорядкована множина $\mathcal{M} \equiv \{M_{sn}(t)|_{t_0 < t \leq T}, I_0\}$ є прогнозом макроекономічних факторів $n = \overline{1, N}$ впливу на сценарну динаміку РД РІТ протягом всього життєвого циклу T фінансового інструменту, де I_0 вся доступна історична інформація на момент t_0 , що використана у відповідній моделі. Тому в подальшому будь-яку з моделей прогнозової динаміки макроекономічних показників будемо називати \mathcal{M} -моделлю на інформаційній множині I_0 .

Природно також ретроспективно визначити і відповідну множину спостережень: $\mathcal{M}^0 \equiv \{M_n(t)|_{T_0 \leq t \leq t_0}, I_0\}$, де $M_n(t)$ – макроекономічні показники $n = \overline{1, N}$, що були обрані у якості предикторів для РД РІТ та фактично спостерігалися від моменту T_0 до моменту t_0 . Тоді ретроспективним періодом визначення доступної історичної інформації I_0 можна вважати проміжок макроекономічних спостережень $[T_0, t_0]$.

Важливим аспектом визначення вимог до інформаційної множини I_0 є те, що вона, як мінімум, має

включати всю інформацію про повний макроекономічний бізнес-цикл, що є вимогою до визначення $[T_0, t_0]$. Тоді і відповідні моделі визначення PD TTC мають бути побудовані на такий самій інформаційній множині I_0 [34]. Такі моделі в подальшому будемо коротко називати $TTC(I_0)$ та аналогічно позначимо як $PIT(I_0)$ – моделі визначення динаміки системно чутливих ймовірностей дефолту PD PIT, оскільки відповідні M -моделі також визначені на інформаційній множині I_0 .

Як правило системні та інші відносно великі українські банки (як суб'єкти господарювання в термінах МСФЗ 9) самостійно розробляють $TTC(I_0)$ та $PIT(I_0)$ моделі¹ або використовують відповідні напрацювання закордонних материнських банків. Проте відповідні M -моделі, як правило, самостійно не розробляються банками, а використовуються вже готові прогнози від сторонніх авторитетних джерел (Світовий банк, IMF, центральні банки країн, міністерства економіки/фінансів та науково-дослідні центри). У зв'язку з цим зазначимо, що НБУ використовує систему FPAS (Forecasting and Policy Analysis System) для прогнозування та аналізу монетарної політики [35].

В результаті проведеного аналізу все різноманіття моделей сімейства PIT_{TTC} , яка є об'єктом дослідження, представимо в такій операторній формі узагальненого виду:

$$TTC(I_0) \quad \mathcal{F} : \{M^0, F^0\} \rightarrow PD_{TTC}(t_0) \quad (1)$$

$$PIT(I_0) \quad \mathcal{G} : \{M, PD_{TTC}(t_0)\} \rightarrow PD \quad (2)$$

де M^0, F^0 – відомі як фактичні спостереження на проміжку $[T_0, t_0]$, прогнозна множина M визначається за будь-якою M моделлю, як описано вище; $PD_{TTC}(t_0)$ – розрахункове значення стресової ймовірності дефолту на кожен момент розрахунку t_0 , що визначена на річній основі; $F^0 \equiv \{f_k(t)|_{T_0 \leq t \leq t_0}, I_0\}$, впорядкована за t множина, де $f_k(t)$ – показники $k = 1, K$, що були обрані в якості предикторів, які характеризують фінансово-економічний стан позичальника та фактично спостерігалися на $[T_0, t_0]$; впорядкована за t розрахункова множина системно чутливих ймовірностей дефолту позичальника $PD^{PIT}_s(t)$ у відповідному періоді $PD \equiv \{PD^{PIT}_s(t)|_{t_0 < t \leq T}, I_0\}$, що розраховується кожного разу для нового звітного моменту часу t_0 .

Звичайно за визначенням системи (1)-(2) оператори \mathcal{F} та \mathcal{G} вказують на відповідну модель $TTC(I_0) \in TTC$ та $PIT(I_0) \in PIT$, короткий огляд

яких наведений вище. Як тільки вибір моделей із вказаних сімейств буде здійснений, система рівнянь (1)-(2) стає замкнутою, тобто набуває конкретної функціональної форми та змісту, а практичне використання потребуватиме первинної валідації, включаючи калібрування параметрів моделей [5, п. 110].

У якості моделі $TTC(I_0)$ для оператора (1) може бути вибрана, наприклад, модель типу Альтмана-Ольсона²:

$$PD_{TTC}(t_0) = \frac{1}{1 + \exp\left(\sum_k a_k f_k(t_0) + a_0\right)}$$

тобто в даному випадку M^0 явно не використовується, хоча, звичайно, вплив M^0 рахується в самій часовій динаміці F^0 в процесі статистичної оцінки коефіцієнтів $a_k, k = 1, K$ моделі.

Однак, зазначимо, що якщо обрати портфельну модель пропорційних ризиків Кокса з коваріатами, що залежать від часу, то в операторі \mathcal{F} навпаки може явно не використовуватися F^0 , оскільки за цими показниками портфель попередньо стратифікується, щоб $PD_{TTC}(t_0)$ розраховувалося окремо до кожної однорідної за показниками F^0 портфельної страти.

У якості $PIT(I_0)$ -моделі для конкретизації оператора \mathcal{G} в (2) можна, наприклад, обрати широко розповсюджену модель Васічека [18],

$$PD^{PIT}_s(t)|_{t_0 < t \leq T} = \Phi\left(\frac{\Phi^{-1}(PD_{TTC}(t_0)) - M_s(t)\sqrt{\rho}}{\sqrt{1-\rho}}\right)$$

для якої в позначеннях цієї статті $N = 1, M_{s1}(t) = M_s(t)$, Φ – кумулятивна стандартна функція нормального розподілу, а ваговий (кореляційний) коефіцієнт ρ є мірою систематичної залежності боржника від макроекономічного фактору $M_s(t)$ та має оцінюватися окремо на даних історичної статистики.

Підкреслимо, що вибір відомої моделі Васічека вимагає перевірки гіпотези H_0 щодо узгодження з нормальним законом розподілу відповідних фактичних значень змінних моделі (4). Це окрема задача вибору адекватної моделі, що буде розглянута нижче.

Від чого ж залежить вибір тієї чи іншої моделі з сімейств TTC та PIT ?

Звичайно від всього комплексу припущень відносно властивостей позичальника або портфеля позичальників, а також того специфічного ризикового середовища, в якому функціонують позичальники. Комплекс таких припущень формалізується математичними методами [36]. Так, виходячи з властивос-

¹ Інші банки та фінансові інституції більш схильні використовувати стандартні моделі Національного банку України для визначення PD TTC. Існують також зовнішні хмарні SaaS сервіси як для визначення PD PIT, так і для розрахунку ECL, наприклад такі як єдина вітчизняна розробка MacroFin 9™ <https://macrofin9.com.ua>

² Аналогічну модель використовує Національний банк України для оцінювання CR, що регламентовано в Постановою НБУ № 351

тей позичальника та того ризикового середовища, будується вимірний ймовірнісний простір з мірою $(\Omega, \mathfrak{F}, \mathcal{P})$, де простір Ω елементарних подій, тобто множина всіх можливих результатів експерименту, \mathfrak{F} – σ -алгебра, а \mathcal{P} – ймовірнісна міра на \mathfrak{F} . Моделі, які створюють замкнену систему (1)-(2), описуються функціями, що набувають значень з (S, Σ) , де (S, Σ) – інший вимірний простір із σ -алгеброю Σ .

При цьому можуть розрізнятися два типу моделей а) або б) якщо в залежності від припущень моделюється:

– випадкова величина, як вимірне відображення $\xi: \Omega \rightarrow S$ з відповідною умовою щодо його прообразу $\xi^{-1} = \{\omega \in \Omega: \xi(\omega) \in B\}$ для будь-якої множини $B \in \mathfrak{F}$;

– випадковий процес як множина випадкових величин на ймовірнісному просторі $(\Omega, \mathfrak{F}, \mathcal{P})$, що параметризований множиною часу T з елементами $t: t \in T$ та набуває значень у вимірному просторі (S, Σ) : $x = \{x_t(\omega), t \in T, \omega \in \Omega\}$ де $x_t(\omega): T \times \Omega \rightarrow S$.

В процесі вибору адекватної моделі з метою найбільш повного відображення поведінки позичальника та властивостей реального ризикового середовища слід визначити всі елементи наведеної вище математичної формалізації, що у подальшому буде називати М-задачею.

Звичайно не достатньо вирішити М-задачу, а й необхідно оцінити невідомі параметри моделі, для її практичного використання. Таку задачу буде називати задачею статистичної ідентифікації моделі, або І-задачею. Зазначимо, що на цьому шляху існують дві перешкоди. Спочатку важливо дослідити властивості запропонованих оцінок, наприклад, їх консистентність [37, п. 3.4.2]. Тільки після цього можна здійснити оцінку на основі наявних спостережень, якщо це буде практично можливо, а саме фактичні дані мають бути доступними, якісними та їх кількість достатня. Така вимога до вибірки даних в процесі ідентифікації моделі є досить суттєвою, оскільки від цього залежить потужність як статистичних методів оцінювання параметрів моделі, так і критеріїв узгодженості (КС, хі-квадрат тощо).

Повернемося тепер до операторних рівнянь (1)-(2), що охоплюють практично увесь спектр відомих мо-

делей, і проаналізуємо спочатку, що має змінитися, якщо (1)-(2) будуть замкнені та розглядатися на інший момент розрахунку в звичайних умовах економічного циклу.

Нехай момент розрахунку змінився на $t_1 > t_0$ тоді в період між двома послідовними моментами валідації замкнуті операторні рівняння (1)-(2) не зазнають жодних змін. Вони можуть змінитися на інші лише в процесі вибору моделі після проведення валідації, спираючись вже на нову інформацію в I_1 – більш потужну інформаційну множину, що склалася на момент валідації ($I_0 \subset I_1$), що будемо називати звичайним валідаційним режимом калібрування (І-задача) або змінення моделі на іншу (М-задача).

Нехай тепер t_1 інтерпретується як момент розрахунку після вторгнення росії. Тоді оператори (1)-(2) вже не зможуть бути визначені на всій інформаційній множині I_1 . Дійсно, економічна система в цілому та відповідно самі позичальники зазнають кардинальних змін, що відображаються в інформаційному середовищі війни I^* , тобто $I^* = I_0 \cap I_1$, де I_0 – «довоєнна» інформаційна множина. В наслідку цього слід заново вирішувати як М-задачу, так і І-задачу інтерпретації, що є складним науково-практичним завданням в умовах високої невизначеності ризикового економічного середовища, що сильно змінюється внаслідок тривалих бойових дій. Назвемо цей режим кризовою валідацією моделей.

Узагальнена порівняльна проблематика вказаних вище режимів валідації моделей наведена нижче в табл.1

Аналіз в табл. 1 дозволяє зробити певні висновки щодо формування шляхів подальших досліджень для вирішення проблеми побудови моделей сімейства PIT_{TTC} в умовах високої невизначеності, спричиненого війною, в тому числі в період післявоєнного відновлення.

Так, можливості щодо використання історичних даних 1) можуть бути розширені шляхом додавання множини I_0 за умови інтерпретації цих даних виключно як цензурованих із правим відсіченням на момент вторгнення $t_* < t_1$ за аналогією із модельними підходами Kaplan–Meier estimator [38]. Тоді таку інформацію слід інтерпретувати як характеристику

Таблиця 1

Порівняння режимів валідації моделей сімейства PIT_{TTC}

№	Проблематика та її критерій	Режим валідації	
		звичайний	кризовий
1.	Використання історичних даних	так I_1	обмежено $I_0 \cap I_1$
2.	Вибір моделі із сімейств TTC та PIT	так	невідомо
3.	Можливість вирішення М-задачі	так	невідомо
4.	Можливість вирішення І-задачі	так у більшості випадків	ні у більшості випадків

потенційної стійкості та спроможності до відновлення як позичальників, так і економічного середовища в цілому.

Інша проблематика імовірно може бути частково вирішена розширенням сімейства моделей *TTC* та *PIT* новими моделями, які скоріш за все, будуть інтегрувати стандартні підходи із методами Bayesian inference [39] та методами типу Дельфі [40] з використанням теорії нечітких множин [27] та відповідним математичним обґрунтуванням висновків на підставі принципу SICR в МСФЗ 9 [1, п. 5.5.4, п. 5.5.9, п. 5.5.11].

В підсумку можна констатувати, що збурення екзогенних змінних, яке не зводиться до звичайних економічних шоків [41], вимагають повної зміни парадигми моделювання ймовірності кредитного дефолту, що буде додатково розглянуто в наступній статті на прикладі простої моделі кредитного дефолту, що описується схемою Бернуллі [42].

Висновки. Брак досвіду моделювання ймовірностей дефолту позичальників в умовах війни та

у ризиковому економічному середовищі післявоєнної України може критично вплинути на фінансову стабільність, як в найближчій перспективі, так і в середньостроковому післявоєнному періоді відновлення.

Тому в роботі була обґрунтована необхідність повного перегляду методології оцінювання ймовірності кредитного дефолту в умовах високої невизначеності стану економічного середовища під впливом екзогенних факторів, що не зводяться до звичайних економічних шоків.

В результаті формалізований в операторних рівняннях процес створення одного з класів математичних моделей для побудови нових методів визначення ймовірності кредитного дефолту позичальника, як в умовах війни, так і в ході відновлення України в середньостроковий післявоєнний період. При цьому, на нашу думку, вказана нова методологія має інтегрувати класичні моделі з методами Bayesian inference, методами типу Дельфі на підставі принципу SICR в МСФЗ 9.

Список літератури:

1. Міжнародний стандарт фінансової звітності 9 (МСФЗ 9). Фінансові інструменти. URL: https://mof.gov.ua/storage/files/IFRS_9_Ukrainian-compressed.pdf (дата звернення: 28.09.2023).
2. Положення про визначення банками України розміру кредитного ризику за активними банківськими операціями: Постанова Правління Національного банку України від 30 червня 2016 року № 351. URL: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/v0351500-16> (дата звернення: 25.09.2023).
3. Directive 2013/36/EU on access to the activity of credit institutions and the prudential supervision of credit institutions and investment firms (CRD IV). URL: http://ec.europa.eu/finance/bank/regcapital/legislation-in-force/index_en.htm (дата звернення: 24.09.2023).
4. Regulation (EU) № 575/2013 on prudential requirements for credit institutions and investment firms (CRR). 2006. URL: http://ec.europa.eu/finance/bank/regcapital/legislation-in-force/index_en.htm/ (дата звернення: 25.09.2023).
5. Положення про організацію системи управління ризиками в банках України та банківських групах: Постанова Правління Національного банку України від 11 червня 2018 року № 64. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0064500-18#Text> (дата звернення: 25.09.2023).
6. Guide for the Targeted Review of Internal Models (TRIM). 2017. URL: https://www.bankingsupervision.europa.eu/ecb/pub/pdf/trim_guide.en.pdf (дата звернення: 29.09.2023).
7. Tamari M. Financial ratios as a means of forecasting bankruptcy. *Management International Review*. 1966. Vol. 4. P. 15–21.
8. Moses D., Liao S. On developing models for failure prediction. *Journal of Commercial Bank Lending*. March, 1987. P. 27–38.
9. Durand D. Risk elements in consumer installment financing. NY: National Bureau of Economic Research, 1941. URL: <https://www.nber.org/books-and-chapters/risk-elements-consumer-instalment-financing-technical-edition> (дата звернення: 28.09.2023).
10. Jonkhart M. On the Term Structure of Interest Rates and the Risk of Default. *Journal of Banking & Finance*. 1979. Vol. 3. P. 253–262.
11. Iben T., Litterman R. Corporate Bond Valuation and the Term Structure of Credit Spreads. *Journal of Portfolio Management*. 1991. Vol. 17. P. 52–64.
12. Grenadier S., Hall B. Risk-based standards and the riskiness of bank portfolios: credit and factor risks. *National Bureau of Economic Research*. July, 1995. Vol. 42. P. 1–42.
13. Longstaff F., Schwartz E. Implementation of The Longstaff-Schwartz Interest Rate Model. *The Journal of Fixed Income*. September, 1993. Vol. 3. P. 7–14.
14. Das S., Tufano P. Pricing Credit Sensitive Debt When Interest Rates, Credit Ratings and Credit Spreads are Stochastic. *Journal of Financial Engineering*. 1995. Vol. 5. P. 161–198.
15. Jarrow R, Turnbull S. Pricing Derivatives on Financial Securities Subject to Credit Risk. *Journal of Finance*. March, 1995. Vol. 50. P. 53–85.
16. Black F., Scholes M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy*. 1973. Vol. 81. P. 637–654.

17. Merton R. On the pricing of corporate debt: the risk structure of interest rates. *Journal of Finance*. 1974. Vol. 29. P. 49–70.
18. Vasicek O. Loan portfolio value. *RISK Magazine*. December, 2002. P. 160–162.
19. Altman E. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy. *Journal of Finance*. 1968. P. 189–209.
20. Ohlson J. Financial ratios and the probabilistic prediction of Bankruptcy. *Journal of Accounting Research*. 1980. Vol. 18. P. 109–131.
21. Campbell J., Hilscher J., Szilagyi J. Predicting Financial Distress and the Performance of Distressed Stocks. *Journal of Investment Management*. 2011. Vol. 9(2). P. 14–34.
22. Valles V. Stability of a “through – the – cycle” rating system during a financial crisis. *Bank for International Settlements*. September, 2006. URL: <https://www.bis.org/fsi/awp2006.pdf> (дата звернення: 22.09.2023).
23. Терещенко О.О. Антикризове фінансове управління на підприємстві: монографія. Київ : КНЕУ, 2004. 268 с.
24. Wilson T. Portfolio Credit Risk: part II. *Risk Magazine*. October, 1997. P. 56–61.
25. Wilson T. Portfolio Credit Risk: part II. *Risk Magazine*. September, 1997. P. 111–117.
26. Jacobs M.Jr. Validation of Corporate Probability of Default Models Considering Alternative Use Cases. *International Journal of Financial Studies*. 2021. Vol. 9(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijfs9040063> (дата звернення: 23.09.2023).
27. Рибалка О.В. Визначення схильності підприємства до банкрутства за допомогою нечітких нейронних мереж. *Актуальні проблеми економіки*. 2006. № 1(55). С. 199–205.
28. Jarrow R., Lando D., Turnbull S. A Markov model for the term structure of credit risk spreads. *Review of Financial Studies*. 1997. Vol. 19. P. 481–523.
29. Breeden J. Reinventing retail lending analytics: forecasting, stress testing, capital and scoring for a world of crises. London. 2010. 433 p.
30. Zhang A. Statistical methods in credit risk modeling. Diss. University of Michigan. 2009. 156 p.
31. Breeden J., Bellotti A., Yablonski A. Instabilities using Cox PH for forecasting or stress testing loan portfolios. Working paper. 2015. 236 p.
32. International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards. A Revised Framework. Basle Committee on Banking Supervision. Basle. November, 2005. URL: <https://www.bis.org/fsi/publications.htm?m=1390> (дата звернення: 26.09.2023).
33. Farrar Donald E., Glauber Robert R. Multicollinearity in Regression Analysis: The Problem Revisited. *The Review of Economics and Statistics*. 2014. Vol. 49(1). P. 92–107.
34. Про затвердження Порядку погодження внутрішніх положень банків щодо оцінки активів та розрахунку розміру кредитного ризику в частині підходів до визначення значень коефіцієнтів імовірності дефолту боржника/контрагента: Рішення Правління Національного банку України від 17.04.2018. № 225-рш. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/vr225500-18#Text> (дата звернення: 26.09.2023).
35. Про методи та форми прогнозування макроекономічних показників економічного і соціального розвитку України, а також монетарної політики: Рішення Ради Національного банку України від 28.01.2019. № 1-рд. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/vr001500-19#Text> (дата звернення: 27.09.2023).
36. Мішура Ю.С., Ральченко К.В., Сахно Л.М., Шевченко Г.М. Випадкові процеси: теорія, статистика, застосування: підручник. 2-ге вид., випр. і допов. Київ : ВПЦ "Київський університет". 2023. 496 с.
37. Takeshi A. *Advanced Econometrics*. Harvard University Press. 1985. 521 p.
38. Kaplan E.L. In a retrospective on the seminal paper in «This week's citation classic». *Current Contents*. 1983. Vol. 24. P. 14.
39. Gelman A., Carlin J., Stern B., Dunson S., Vehtari A., Rubin D. *Bayesian Data Analysis, Third Edition*. Chapman and Hall. 2013. 677 p.
40. Hilbert M., Miles I., Othmer J. Foresight tools for participative policy-making in inter-governmental processes in developing countries: Lessons learned from the eLAC Policy Priorities Delphi. *Technological Forecasting and Social Change*. 2009. Vol. 76. P. 880–896.
41. Lütkepohl H. Impulse response function. *The New Palgrave Dictionary of Economics* (2nd ed.). Palgrave Macmillan. 2008. 857 p.
42. Gurov S. 0-event: Point and Interval Estimates. *Mathematics and Statistics*. 2013. Vol. 1(2). P. 53–58.

References:

1. Mizhnarodnyi standart finansovoi zvitnosti 9 (MSFZ 9). Finansovi instrumenty [International Financial Reporting Standard 9 (IFRS 9). Financial instruments]. Available at: https://mof.gov.ua/storage/files/IFRS_9_Ukrainian-compressed.pdf (accessed September 28, 2023).
2. Polozhennia pro vyznachennia bankamy Ukrainy rozmiru kredytnoho ryzyku za aktyvnymy bankivskymy operatsiyamy [Provisions on the determination by banks of Ukraine of the amount of credit risk for active banking operations]: Postanova Pravlinnia Natsionalnoho banku Ukrainy vid 30 chervnia 2016 roku No. 351. Available at: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/v0351500-16> (accessed September 25, 2023).
3. Directive 2013/36/EU on access to the activity of credit institutions and the prudential supervision of credit institutions and investment firms (CRD IV). Available at: http://ec.europa.eu/finance/bank/regcapital/legislation-in-force/index_en.htm (accessed September 24, 2023).

4. Regulation (EU) № 575/2013 on prudential requirements for credit institutions and investment firms (CRR). (2006). Available at: ec.europa.eu/finance/bank/regcapital/legislation-in-force/index_en.htm/ (accessed September 25, 2023).
5. Polozhennia pro orhanizatsiiu systemy upravlinnia ryzykamy v bankakh Ukrainy ta bankivskykh hrupakh [Regulations on the organization of the risk management system in Ukrainian banks and banking groups]: Postanova Pravlinnia Natsionalnoho banku Ukrainy vid 11 chervnia 2018 roku No. 64. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0064500-18#Text> (accessed September 25, 2023).
6. Guide for the Targeted Review of Internal Models (TRIM). (2017). Available at: https://www.bankingsupervision.europa.eu/ecb/pub/pdf/trim_guide.en.pdf (accessed September 29, 2023).
7. Tamari M. (1966) Financial ratios as a means of forecasting bankruptcy. *Management International Review*, vol. 4, pp. 15–21.
8. Moses D., Liao S. (March, 1987) On developing models for failure prediction. *Journal of Commercial Bank Lending*, pp. 27–38.
9. Durand D. *Risk elements in consumer installment financing*. NY: National Bureau of Economic Research. 1941. Available at: <https://www.nber.org/books-and-chapters/risk-elements-consumer-instalment-financing-technical-edition> (accessed September 28, 2023).
10. Jonkhart M. (1979) On the Term Structure of Interest Rates and the Risk of Default. *Journal of Banking & Finance*, vol. 3, pp. 253–262.
11. Iben T., Litterman R. (1991) Corporate Bond Valuation and the Term Structure of Credit Spreads. *Journal of Portfolio Management*, vol. 17, pp. 52–64.
12. Grenadier S., Hall B. (July, 1995) Risk-based standards and the riskiness of bank portfolios: credit and factor risks. *National Bureau of Economic Research*, vol. 42, pp. 1–42.
13. Longstaff F., Schwartz E. (September, 1993) Implementation of The Longstaff-Schwartz Interest Rate Model. *The Journal of Fixed Income*, vol. 3, pp. 7–14.
14. Das S., Tufano P. (1995) Pricing Credit Sensitive Debt When Interest Rates, Credit Ratings and Credit Spreads are Stochastic. *Journal of Financial Engineering*, vol. 5, pp. 161–198.
15. Jarrow R., Turnbull S. (March, 1995) Pricing Derivatives on Financial Securities Subject to Credit Risk. *Journal of Finance*, vol. 50, pp. 53–85.
16. Black F., Scholes M. (1973) The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy*, vol. 81, pp. 637–654.
17. Merton R. (1974) On the pricing of corporate debt: the risk structure of interest rates. *Journal of Finance*, vol. 29, pp. 49–70.
18. Vasicek O. (December, 2002) Loan portfolio value. *RISK Magazine*. P. 160–162.
19. Altman E. (1968) Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy. *Journal of Finance*, pp. 189–209.
20. Ohlson J. (1980) Financial ratios and the probabilistic prediction of Bankruptcy. *Journal of Accounting Research*, vol. 18, pp. 109–131.
21. Campbell J., Hilscher J., Szilagyi J. (2011) Predicting Financial Distress and the Performance of Distressed Stocks. *Journal of Investment Management*, vol. 9(2), pp. 14–34.
22. Valles V. (September, 2006) Stability of a “through – the – cycle” rating system during a financial crisis. *Bank for International Settlements*. Available at: <https://www.bis.org/fsi/awp2006.pdf> (accessed September 22, 2023).
23. Tereshchenko O. O. (2004) *Antykryzove finansove upravlinnia na pidpriemstvi: monohrafiia* [Anti-crisis financial management at the enterprise: monograph]. Kyiv: KNEU, p. 268.
24. Wilson T. (October, 1997) Portfolio Credit Risk: part II. *Risk Magazine*, pp. 56–61.
25. Wilson T. (September, 1997) Portfolio Credit Risk: part II. *Risk Magazine*, pp. 111–117.
26. Jacobs M.Jr. (2021) Validation of Corporate Probability of Default Models Considering Alternative Use Cases. *International Journal of Financial Studies*, vol. 9(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijfs9040063> (accessed September 23, 2023).
27. Rybalka O. V. (2006) Vyznachennia skhylnosti pidpriemstva do bankrutstva za dopomohoiu nechitkykh neuronnykh merezh [Determining the propensity of an enterprise to bankruptcy using fuzzy neural networks]. *Aktualni problemy ekonomiky*, no. 1(55), pp. 199–205.
28. Jarrow R., Lando D., Turnbull S. (1997) A Markov model for the term structure of credit risk spreads. *Review of Financial Studies*, vol. 19, pp. 481–523.
29. Breeden J. (2010) *Reinventing retail lending analytics: forecasting, stress testing, capital and scoring for a world of crises*. London. 433 p.
30. Zhang A. (2009) *Statistical methods in credit risk modeling*. Diss. University of Michigan. 156 p.
31. Breeden J., Bellotti A., Yablonski A. (2015) *Instabilities using Cox PH for forecasting or stress testing loan portfolios*. Working paper. 236 p.
32. International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards. A Revised Framework. Basle Committee on Banking Supervision. Basle. (November, 2005) Available at: <https://www.bis.org/fsi/publications.htm?m=1390> (accessed September 26, 2023).
33. Farrar Donald E., Glauber Robert R. (2014) Multicollinearity in Regression Analysis: The Problem Revisited. *The Review of Economics and Statistics*, vol. 49(1), pp. 92–107.

34. Pro zatverdzhennia Poriadku pohodzhennia vnutrishnikh polozhen bankiv shchodo otsinky aktyviv ta rozrakhunku rozmiru kredytnoho ryzyku v chastyni pidkhodiv do vyznachennia znachen koefitsientiv imovirnosti defoltu borzhnyka/kontrahenta [On the approval of the Procedure for the approval of the internal regulations of banks regarding the assessment of assets and the calculation of the amount of credit risk in terms of approaches to determining the values of the coefficients of the probability of default of the debtor/counterparty]: Rishennia Pravlinnia Natsionalnoho banku Ukrainy vid 17.04.2018. No. 225-rsh. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/vr225500-18#Text> (accessed September 26, 2023).
35. Pro metody ta formy prohnozuvannia makroekonomichnykh pokaznykiv ekonomichnoho i sotsialnoho rozvytku Ukrainy, a takozh monetarnoi polityky [About methods and forms of forecasting macroeconomic indicators of economic and social development of Ukraine, as well as monetary policy]: Pishennia Rady Natsionalnoho banku Ukrainy vid 28.01.2019. No. 1-rd. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/vr001500-19#Text> (accessed September 27, 2023).
36. Mishura Yu.S., Ralchenko K.V., Sakhno L.M., Shevchenko H.M. (2023) *Vypadkovi protsesy: teoriia, statystyka, zastosuvannia* [Random processes: theory, statistics, applications]: pidruchnyk. 2-he vyd., vypr. i dopov. Kyiv: VPTs «Kyivskiy universytet», 496 p.
37. Takeshi A. (1985) *Advanced Econometrics*. Harvard University Press. 521 p.
38. Kaplan E. L. (1983) In a retrospective on the seminal paper in «This week's citation classic». *Current Contents*, vol. 24, p.14.
39. Gelman A., Carlin J., Stern B., Dunson S., Vehtari A., Rubin D. (2013) *Bayesian Data Analysis, Third Edition*. Chapman and Hall. 677 p.
40. Hilbert M., Miles I., Othmer J. (2009) Foresight tools for participative policy-making in inter-governmental processes in developing countries: Lessons learned from the eLAC Policy Priorities Delphi. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 76, pp. 880–896.
41. Lütkepohl H. (2008) Impulse response function. The New Palgrave Dictionary of Economics (2nd ed.). *Palgrave Macmillan*. 857 p.
42. Gurov S. (2013) 0-event: Point and Interval Estimates. *Mathematics and Statistics*, vol. 1(2), pp. 53–58.