

DOI: 10.55643/fcaptr.3.62.2025.4716

Сергій Козловський

д.е.н., професор кафедри підприємництва, корпоративної та просторової економіки, Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, Україна;
 e-mail: s.kozlovskyy@donnu.edu.ua
 ORCID: [0000-0003-0707-4996](https://orcid.org/0000-0003-0707-4996)
 (Corresponding author)

Тетяна Кулініч

к.е.н., доцент кафедри менеджменту організацій, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна;
 ORCID: [0000-0003-0110-7080](https://orcid.org/0000-0003-0110-7080)

Руслан Лавров

д.е.н., професор кафедри економіки і управління, Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, Чернігів, Україна;
 ORCID: [0000-0002-9566-4467](https://orcid.org/0000-0002-9566-4467)

Іван Заюков

д.е.н., доцент кафедри менеджменту та публічного управління, Вінницький торговельно-економічний інститут Державного торговельно-економічного університету, Вінниця, Україна;
 ORCID: [0000-0002-7225-2827](https://orcid.org/0000-0002-7225-2827)

Андрій Козловський

к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна;
 ORCID: [0000-0001-9697-1511](https://orcid.org/0000-0001-9697-1511)

Олександр Козловський

студент, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна;
 ORCID: [0009-0005-9380-698X](https://orcid.org/0009-0005-9380-698X)

Received: 31/01/2025

Accepted: 21/05/2025

Published: 30/06/2025

© Copyright
 2025 by the author(s)



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВАЛЮТНОГО КУРСУ В УКРАЇНІ МЕТОДАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

АНОТАЦІЯ

Проблема прогнозування фінансових показників, зокрема валютних курсів, належить до одних із найскладніших і найбільш актуальних завдань у сучасній економіці та фінансах. З початком повномасштабної війни росії проти України 24 лютого 2022 року складність і важливість прогнозування валютного курсу в Україні суттєво зросли. Прогнозування стало критично необхідним для підтримки національної економіки в умовах війни. Об'єктом дослідження є середньоринковий валютний курс гривні щодо долара США. Предметом дослідження є використання інструментальних і економіко-математичних методів штучного інтелекту й теорії нечітких множин для створення верифікованих прогнозів на період до двох років. У межах дослідження висунуто гіпотезу, що в умовах війни з 2025 року валютний курс гривні може знизитися вдвічі протягом двох років. Мета дослідження полягає в прогнозуванні валютного курсу в Україні за допомогою методів нейролінгвістичного моделювання, що дозволяє описувати фактори впливу на курс у лінгвістичній формі та отримувати прогнози у вигляді кількісних і якісних значень. У процесі дослідження визначено 16 основних факторів впливу, згрупованих за економічними, політичними та воєнними ознаками, які також описані в лінгвістичній формі. Результатом роботи стала економіко-математична модель прогнозування валютного курсу в Україні, на основі якої було здійснено прогноз на два роки. За оцінками, протягом цього періоду курс гривні до долара США може знизитися на 50%. Отримані результати можуть бути корисні для державних установ України в плануванні економічної політики в умовах війни, а також викликати інтерес у міжнародних організацій, агентств і фондів для розвитку економічних і фінансових відносин.

Ключові слова: прогнозування, моделювання, валютний курс, штучний інтелект, економіка, фінанси, теорія нечітких множин, центральний банк, війна

JEL Класифікація: C53, E47, F31, F37

ВСТУП

Проблематика прогнозування валютних курсів є однією з найактуальніших і найскладніших задач сучасної науки. Існуючі методи, індекси та алгоритми, розроблені для максимально точного прогнозування фінансових показників, не забезпечують точних верифікованих прогнозів. Така ситуація породжує постійний пошук методів розв'язання цієї проблеми. Класичні математичні методи прогнозування, технічний аналіз, фундаментальний аналіз постійно вдосконалюються, але на сьогодні не можуть забезпечити тих граничних умов, які задають фінансисти.

Мета прогнозу очевидна — отримання максимальної вигоди (прибутку), яку хочуть мати учасники фінансового ринку. Для досягнення цієї мети фінансистам і економістам необхідно максимально точно спрогнозувати динаміку та значення цього фінансового показника, у нашому випадку — валютного курсу в Україні. Складність виконання цього завдання зумовлена ще й тим, що з 24.02.2022 року в Україні триває повномасштабна війна. Фактор війни створив абсолютно нові умови та додав нові проблеми до розв'язання цієї задачі. Він змінив практично всю існуючу систему прогнозування валютного курсу в Україні, яка діяла до цього моменту.

Широка актуальність розвитку методів прогнозування фінансових показників виникла разом із гіперактивним розвитком ринку криптовалют у світовій економіці (Kozlovskyi et al., 2021c). Цей процес розвитку ринку криптовалют також стимулював активізацію пошуку методів якісного прогнозування фінансових показників, прогнозування їхніх значень у короткостроковій і довгостроковій перспективі. Сучасні процеси у світовій економіці та фінансовій царині свідчать про те, що завдання прогнозування фінансових показників є надзвичайно потрібним.

Слід також відзначити економічний, фінансовий і політичний аспекти проблеми прогнозування валютного курсу. Валютний курс – це особливий фінансовий показник, який залежить від стану економіки країни, від законодавчих аспектів регулювання валютного курсу центрального банку та фінансових установ, а також від державної політики, яка значною мірою може залежати від світових фінансових інституцій, таких як Міжнародний валютний фонд (IMF, 2024), Світовий банк (The World Bank, 2024), Світова організація торгівлі (WTO, 2024) та інших. Така інституційна залежність валютного курсу значно ускладнює процес його прогнозування. Валютний курс усе більше може бути описаний не кількісними, а якісними характеристиками. Найкращим методологічним підходом для розв'язання задачі моделювання та прогнозування якісних економічних і фінансових показників є саме методи штучного інтелекту.

Використання методів штучного інтелекту дозволить описати фактор війни в Україні та інші фактори прямого й непрямого впливу (такі як політика Національного банку України, міжнародна підтримка України, політична стабільність у державі тощо), що дасть змогу якісно спрогнозувати валютний курс в Україні. Отримання максимально точних прогнозних значень дозволить фінансовим і економічним агентам індикативно планувати свою діяльність, а урядові України та його центральному банку ухвалювати правильні рішення для забезпечення стійкості й стабільності української економіки в умовах війни.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Практично будь-який економічний суб'єкт відчуває вплив коливань валютного курсу на свої фінансові результати. У цих умовах актуальним завданням є не лише мінімізація валютних ризиків, а й прогнозування його рівня. Вплив валютних ризиків на стан фінансового сектора держави знайшов відображення в роботах низки сучасних учених-економістів. Так, у дослідженні Radhwan et al. (2015) запропоновано використовувати для прогнозування валютних курсів метод диференціальної еволюції, а для оптимізації моделі — метод генетичного алгоритму. Автори Radhwan et al. (2015) також порівняли точність запропонованої ними моделі з моделюванням на основі регресії опорних векторів. Результати цього експерименту показали явні переваги методів диференціальної еволюції, заснованої на теорії хаосу, і генетичного алгоритму порівняно з раніше існуючими підходами.

Класичне й модернізоване використання методів лінійного програмування та регресійного аналізу знайшло своє відображення в роботі Meade (2002), де автор зробив висновок, що лінійне моделювання валютного курсу показує більш точний прогноз порівняно з нелінійним моделюванням на локальному, короткому періоді. Meade N. (2002) використовував модель linear AR-GARCH, на відміну від роботи Sharma et al. (2021), у якій доведена ефективність використання й симетричних, і асиметричних моделей авторегресійної умовної гетероскедастичності (GARCH) при прогнозуванні волатильності валютних курсів п'яти країн, що розвиваються, таких як Китай, Індія, Індонезія, Бразилія та Мексика.

Lin et al. (2012) намагався розв'язати проблему нелінійних і нестійких характеристик фінансових часових рядів, таких як курси іноземних валют, запропонувавши гібридну модель прогнозування, яка використовує емпіричне розкладання мод (EMD) і регресію опорних векторів методом найменших квадратів (LSSVR) для прогнозування валютного курсу. EMD використовували для розкладання динаміки валютного курсу на кілька компонент внутрішніх мод (IMF) та одну залишкову компоненту.

У дослідженнях Strozzi & Zaldivar (2005) і Strozzi & Comenges (2006) були застосовані техніки реконструкції простору станів для оцінки об'єму простору станів і його змін. Вони визначили трейдингову методологію, враховуючи прискорення в системі високого вимірювання простору станів як своєрідний індикатор моменту, подібний до тих, які використовують у фінансовому технічному аналізі. Ця методологія була застосована до високочастотних валютних курсів між доларом США та 18 іншими іноземними валютами з Єврозони. Вони зробили висновок, що, з погляду прогнозування, високочастотні часові ряди валютного курсу мають іншу поведінку порівняно з випадковим блуканням, тобто є більш передбачуваними. У цьому сенсі певна кількість детермінізму вбудована в аналізовані фінансові часові ряди, що дозволяє робити точніші прогнози, ніж випадкове блукання.

Ding et al. (2009) досліджували хаотичну поведінку курсу покупки RMB щодо євро. Вони виявили, що валютний курс євро не відповідає нормальному розподілові, а коливання курсу євро – це нелінійна система, яка не відповідає

гіпотезі випадкового блукання, запропонованій теорією ефективного ринку. Результати, отримані за допомогою R/S-аналізу, показали, що коливання курсу євро не узгоджуються з теорією ефективного ринку; ці коливання є не просто лінійною системою, а складною нелінійною системою з характеристиками хаосу. Водночас перевірка за допомогою моделі GARCH підтвердила нелінійну динамічну систему розподілу квадратів відхилень.

Huang et al. (2010) упровадили модель, засновану на теорії хаосу, для прогнозування валютних курсів. На першому етапі використали затриману координатну вбудову для реконструкції непомітного фазового простору (або простору станів) динаміки валютного курсу. На другому етапі побудували опорні вектори (SVM) для прогнозування. Порівняно з традиційними нейронними мережами, чистими SVM або нейронними мережами, заснованими на хаосі, запропонована модель показала найкращі результати. Кількість помилок прогнозування середньоквадратичного кореня була значно зменшена.

Federici & Gandolfo (2011) розробили модель валютного курсу в безперервному часі, яка враховує гетерогенність переконань агентів для дослідження нелінійності та можливості хаотичної поведінки. Теоретична модель містить внутрішню нелінійність, яка призводить до диференціального рівняння третього порядку, здатного генерувати хаос. Модель була оцінена економетрично в безперервному часі за даними курсу євро / долар і досліджена на предмет можливості хаотичного руху. Їхні результати показали, що можливість хаотичної динаміки слід відхилити.

У дослідженні Turkamani et al. (2007) було проведено тест незнайомого атратора та найбільшого показника Ляпунова на предмет імовірності хаосу для кількох валютних курсів порівняно з іранським ріалом (IRR). Результати показали, що дані на цьому ринку мають складну хаотичну поведінку з великою кількістю ступенів свободи.

Воєро and Marrocu (2002) порівняли ефективність прогнозування різних моделей для прибутковості трьох валютних курсів стосовно долара США, а саме французького франка (FF/\$), німецької марки (DM/\$) та японської єни (Y/\$). Ефективність нелінійних моделей типів SETAR, STAR і GARCH порівнювали з їхніми лінійними аналогами. Результати показали, що якщо увага обмежується середньоквадратичними помилками прогнозу, ефективність моделей, коли вона відрізняється, схиляється на користь лінійних моделей. Ефективність прогнозування моделей також оцінювали залежно від режиму прогнозування та щільності прогнозів. Цей аналіз надав більше доказів переваг прогнозування за допомогою нелінійних моделей.

Qia and Wu (2002) використали нейронну мережу (NN) для дослідження нелінійної передбачуваності валютних курсів для чотирьох валют на горизонтах прогнозу 1, 6 й 12 місяців. Вони виявили, що модель нейронної мережі з ринковими фундаментальними даними не перевершує випадкове блукання (RW) за точністю прогнозів поза вибіркою. Загалом модель демонструвала гірші результати при підвищенні її складності або збільшенні горизонту прогнозу. Їхні загальні результати були скоріше негативними та свідчили, що ні нелінійність, ні ринкові фундаментальні фактори не є дуже важливими для покращення прогнозу валютного курсу для вибраних періодів.

Проблематика прогнозування валютних курсів у світовій економіці та фінансах набула нового значення після появи пандемії Covid-19. Так, у дослідженні Zu (2022) було запропоновано використовувати моделі машинного навчання (interpretable machine learning, IML) для прогнозування 12 обмінних курсів валют. У результаті цього дослідження були отримані результати, які свідчать про те, що методи машинного навчання найкраще підходять для прогнозування обмінного курсу в короткостроковому періоді на невеликих наборах вхідних даних.

Asadullah et al. (2021) запропонував для прогнозування валютного обмінного курсу використовувати комбінацію моделей часових рядів, таких як ARIMA (Al-Gounmei & Ismail, 2020), експоненційну модель згладжування, зокрема Naïve (Dunis et al., 2008), та одну багатофакторну модель – нелінійну авторегресійну модель із розподіленими лагами (NARDL). Результати дослідження довели, що модель NARDL перевершує всі окремі моделі, такі як ARIMA, Naïve та експоненційну модель згладжування. Застосовуючи комбінацію різних моделей за допомогою різних технік, автори встановили, що поєднання моделей NARDL і Naïve перевершує й усі окремі моделі, і їх комбінації, забезпечуючи найнижче значення MAPE (0.612). Додаткові докази свідчать, що комбінація моделей відіграє важливу роль у прогнозуванні, як зазначено в роботі Poon and Granger (2003).

Слід зазначити, що лише в наукових працях Kvetnyi & Kozlovskiy (2001), Kozlovskiy (2001) було здійснено спробу спрогнозувати валютний курс в Україні з урахуванням показника «форс-мажорні обставини (катастрофа, лихо, воєнні дії)». Це єдина українська наукова праця (Kozlovskiy, 2001), у якій автор, окрім урахування фактора війни, використав апарат теорії нечітких множин і генетичних алгоритмів для розв'язання задачі прогнозування валютного курсу в Україні. На основі роботи Kozlovskiy & Kozlovskiy (2005) була сформована наукова школа прогнозування складних економічних процесів, у межах якої були запропоновані та використані методи нечіткої логіки й генетичних алгоритмів для розв'язання різних економічних задач, таких як: прогнозування інвестиційних процесів в аграрній галузі України (Kozlovskiy & Gerasimenko, 2007); прогнозування цінової політики в аграрній галузі України

(Kozlovskiy & Pchelyanska, 2010); прогнозування стійкості макроекономічної системи України (Kozlovskiy, 2010); прогнозування регіональної продовольчої безпеки (Kozlovskiy & Kireieva, 2014); прогнозування сталого розвитку аграрної галузі України (Kozlovskiy & Burlaka); прогнозування економічної безпеки аграрної галузі України (Kozlovskiy & Zhurakivskiy, 2016); прогнозування рівня державної підтримки аграрної галузі України (Kozlovskiy & Mazur, 2017); прогнозування банкрутства українських підприємств (Kozlovskiy et al., 2019); прогнозування суспільного добробуту в умовах Covid-19 (Kozlovskiy et al., 2020; Kozlovskiy et al., 2021a); прогнозування конкурентоспроможності аграрного сектора України (Kozlovskiy et al., 2021b); оцінка ефективності податкових заходів у країнах Європи проти наслідків Covid-19 (Bilenko & Kozlovskiy, et al., 2022). Наукові результати, отримані в цих дослідженнях, дозволяють зробити висновок про ефективність методів штучного інтелекту й методів теорії нечітких множин при розв'язанні різних економічних задач. Це дозволяє дійти висновку, що для розв'язання задачі прогнозування валютного курсу в Україні в умовах війни також слід використовувати методи нейролінгвістичного моделювання, а саме апарат теорії нечітких множин.

Отже, існуючі методи прогнозування валютного обмінного курсу здебільшого є кількісними методами, які мають свої переваги, й недоліки (зокрема терміни прогнозу, верифікація, обсяг даних тощо). Аналіз показав, що для прогнозування валютного обмінного курсу практично не використовують якісних характеристик.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Мета дослідження полягає в прогнозуванні валютного курсу в Україні за допомогою методів нейролінгвістичного моделювання, що дозволяє описувати фактори впливу на курс у лінгвістичній формі та отримувати прогнози у вигляді кількісних і якісних значень.

МЕТОДИ

Для побудови нейролінгвістичної математичної моделі прогнозування валютного обмінного курсу в Україні в умовах війни застосуємо такий методологічний алгоритм, який успішно апробований для розв'язання подібних економічних і фінансових задач (Kozlovskiy, 2001; Kozlovskiy & Gerasimenko, 2007; Kozlovskiy & Pchelyanska, 2010; Kozlovskiy & Kireieva, 2014; Kozlovskiy & Mazur, 2017; Kozlovskiy et al., 2020) і показаний на Рис. 1.

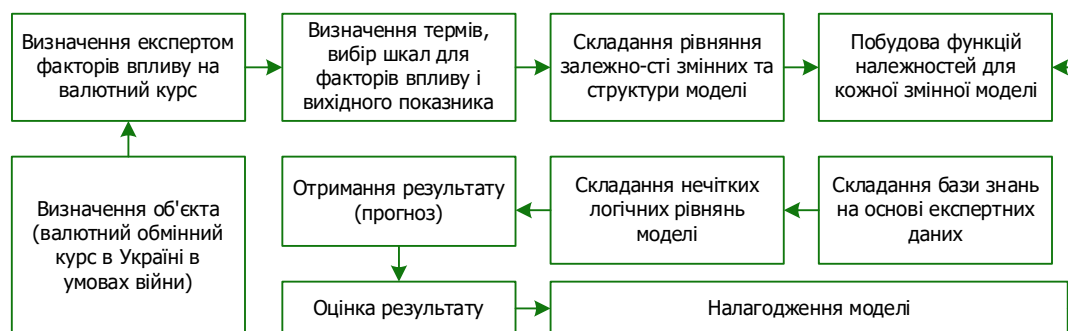


Рис. 1. Етапи проведення дослідження. (Джерело: розроблено на основі Kozlovskiy (2001))

Застосуємо цей методологічний підхід до прогнозування валютного обмінного курсу в Україні в умовах війни. Математичним апаратом побудови цієї моделі обрано апарат теорії нечітких множин (Zadeh, 1976). Етапи проведення дослідження викладені нижче.

Етап 1. Постановка завдання та побудова дерева логічного висновку. Базифікація (визначення об'єкта, визначення факторів впливу на прогнозний показник, складання рівняння та побудова структури моделі). Будемо розглядати економічний об'єкт такого виду:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

з n входами – економічними та фінансовими показниками ($x_i, i = 1, n$) і одним виходом (y), для якого будемо дерево висновку.

Дерево логічного висновку – це граф, структура якого відображає класифікацію факторів $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, що впливають на показник, який прогнозують (y). На цьому етапі роблять фазифікацію – вибір нечітких термів для лінгвістичної оцінки факторів впливу й формалізації цих термів на наступних етапах.

Етап 2. Побудова функцій належності. У більшості систем нечіткого логічного висновку функції належності лінгвістичних термів задають у такій параметричній формі (Rotshtein, 1999; Rotshtein & Shtovba, 2009):

$$\mu^T(x) = \frac{1}{1 + \left[\frac{x-b}{c}\right]^2}, \quad (2)$$

де: b й c – параметри налаштування: b – координата максимуму функції; c – коефіцієнт концентрації-розтягування.

Етап 3. Побудова нечітких баз знань. До нечіткої бази знань заносять результати так званого віртуального (тобто фіктивного) експерименту. В процесі такого віртуального експерименту експерт відповідає на питання: якою буде лінгвістична оцінка вихідного показника при заданому сполученні факторів впливу.

Етап 4. Нечіткий логічний висновок. Нечітким логічним висновком називають апроксимацію залежності $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ за допомогою нечіткої бази знань та операцій над нечіткими множинами (Panoshichen et al., 2010).

Етап 5. Дефазифікація. Отримання результатів моделювання. Дефазифікацією називають процедуру перетворення нечіткої множини на чітке число. Існує декілька методів дефазифікації, але найбільш зручним для розв'язання економічних задач є метод «центра ваги» (Rotshtein, 1999; Rotshtein & Shtovba, 2009). Дефазифікацією нечіткої множини за методом «центра ваги» називають обчислення величини Y за формулою (Rotshtein & Shtovba, 2002):

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n \left[y_{min} + (i-1) \cdot \frac{y_{max} - y_{min}}{n-1} \right] \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (3)$$

де: n – кількість термів змінної y ; y_{min} , y_{max} – розмір шкали вимірювання; μ_i – значення функцій належності.

Процедура дефазифікації є процедурою отримання результатів рівняння моделі прогнозування валютного обмінного курсу в Україні в умовах війни.

Етап 6. Налаштування нечіткої моделі. Відповідно до чинників, що впливають на точність моделі, існують різноманітні методи її налаштування. До таких методів можна віднести:

- розширення обсягу бази знань;
- налаштування функцій належності.

Також необхідно відзначити, що нині налаштування нечітких моделей відбувається за допомогою методів генетичного алгоритму (Rotshtein & Shtovba, 2007).

РЕЗУЛЬТАТИ

Поетапно застосуємо розроблений методологічний підхід до прогнозування валютного обмінного курсу в Україні в умовах війни. Першим і головним етапом моделювання є визначення факторів впливу на валютний обмінний курс в Україні. Оскільки завдання нашого дослідження полягає в нейролінгвістичному моделюванні, то й вибір факторів впливу пропонуємо робити у вигляді й кількісної, і лінгвістичної експертної оцінки. Ураховуючи експертні дослідження таких установ, як Міжнародний валютний фонд (IMF, 2022), Всесвітній банк (The World Bank, 2022), Світова організація торгівлі (WTO, 2022), а також аналітичні дослідження Міністерства економіки України (MEU, 2022), Міністерства фінансів України (MFU, 2022), Національного банку України (NBU, 2022), дані бізнес-спільнот України (Advanter Group, 2022; Board, 2022), визначено основні фактори впливу на обмінний валютний курс в Україні (пара американський долар / гривня України (USD/UAH)) – Табл. 1. Розрахунки валютного обмінного курсу USD/UAH будемо обчислювати як середній комерційний курс купівлі-продажу на ринку. Експертні фактори впливу на валютний обмінний курс USD/UAH, діапазон їхніх змін, лінгвістична оцінка, а також значення параметрів для функцій належності (формула 2) показані в Табл. 1.

Таблиця 1. Фактори впливу на валютний обмінний курс USD/UAH та їх оцінка (від початку повномасштабної війни в Україні, 24.02.2022)

Фактор	Позначення	Діапазон	Лінгвістичні параметри оцінки (терміни) та діапазони їхніх змін	Значення параметрів b та c функції належності (2)	
				b	c
Вхідні фактори					
Економічні фактори (EF)					
Обсяг грошей в обігу (зміна від 24.02.2022)	AMC	0...1000%	Дуже значне збільшення (IVM), 50...1000	500	300
			Значне збільшення (IL), 20...50	150	300
			Доцільне збільшення (EI), 0...20	20	200
Облікова ставка	AR	0...100	Висока (H), 20...100	60	35
			Середня (A), 10...20	25	30
			Низька (L), 0...10	5	25
Валютні резерви країни	CRC	0...100 млрд USD	Високі (H), 30...100	70	25
			Середні (A), 20...30	30	30
			Низькі (L), 0...20	5	25
Індекс інфляції (місяць)	II	-5...100%	Високий (H), 10...100	30	30
			Середній (A), 5...10	8	20
			Низький (L), -5...5	2	15
Торговий баланс (місяць)	TB	-10...10 млрд USD	Позитивний (P), 1...10	5	4
			Стабільний (S), 0...1	1	7
			Негативний (N), -10...0	0	5
Валовий внутрішній продукт (зміна від 24.02.2022)	GDP	-100...30%	Зростання (G), 5...30	15	10
			Стабільний (S), 0...5	0.5	15
			Зменшення (R), -100...0	0	5
Фінансова підтримка України	FSU	0...100 млрд USD	Висока (H), 40...100	70	35
			Середня (A), 10...40	30	25
			Низька (L), 0...10	5	15
Політичні фактори (PF)					
Політика Національного банку України	PNBU	0...100	Жорстка з повним регулюванням (H), 60...100	80	15
			Змішана з частковим регулюванням (M), 30...60	45	25
			Вільний ринок (F), 0...30	15	20
Відносини України з міжнародними організаціями (МВФ, СОТ, СБ)	RUIO	0...100	Високі (H), 60...100	80	20
			Середні (A), 30...60	43	25
			Низькі (L), 0...30	12	15
Рейтинг України за Fitch	RUF	0...100	Високий – A, AA, AAA (H), 70...100	80	25
			Середній – B, BB, BBB (A), 50...70	60	22
			Низький – C, CC, CCC (L), 30...50	40	30
			Поганий – RD, D (B), 0...30	10	20
Рейтинг України за S&P	RUSP	0...100	Високий – A, AA, AAA (H), 70...100	80	25
			Середній – B, BB, BBB (A), 50...70	60	22
			Низький – CC, CCC (L), 30...50	40	30
			Поганий – SD (B), 0...30	10	25
Політична стабільність в Україні	PSU	0...100	Позитивна (P), 70...100	80	20
			Стабільна (S), 40...70	60	30
			Негативна (N), 0...40	20	25

(продовження на наступній сторінці)

Таблиця 1. Продовження.

Фактор	Позначення	Діапазон	Лінгвістичні параметри оцінки (терміни) та діапазони їхніх змін	Значення параметрів b та c функції належності (2)	
				b	c
Воєнні фактори (WF)					
Війна (посилення / послаблення)	W	0...100	Зменшення бойових дій (DMA), 0...25	12	15
			Стабільність на фронті (SMF), 25...65	35	20
			Посилення бойових дій (IMA), 65...100	80	25
Міжнародна військова підтримка України	IMS	0...100	Висока (H), 60...100	80	25
			Середня (A), 30...60	45	35
			Низька (L), 0...30	15	45
Матеріальні втрати України (інфраструктура, економіка, соціальна сфера)	MLU	0,5...5 трлн USD	Високі (H), 2...5	2	2
			Середні (A), 1...2	1.5	2
			Низькі (L), 0,5...1	0.5	3
Військово-політична ситуація в росії (агресор)	MPSR	0...100	Негативна (N), 60...100	80	12
			Стабільна (S), 30...60	45	28
			Позитивна (P), 0...30	12	18
Вихідні фактори					
Економічні фактори (EF)	EF	0...100	Позитивні (P), 70...100	80	20
			Стабільні (S), 40...70	60	30
			Негативні (N), 0...40	20	25
Political factors (PF)	PF	0...100	Позитивні (P), 70...100	80	20
			Стабільні (S), 40...70	60	30
			Негативні (N), 0...40	20	25
War factors (WF)	WF	0...100	Позитивні (P), 70...100	80	20
			Стабільні (S), 40...70	60	30
			Негативні (N), 0...40	20	25
Currency exchange rate USD/UAH (mid-market rate)	CER	5...200 UAH/USD	Позитивний (P), 5...29	15	20
			Стабільний (S), 29...40	34	25
			Негативний (N), 40...80	60	45
			Дуже негативний (VN), 80...200	130	50

Також у Табл. 1 показано нейролінгвістичну оцінку, діапазон змін і параметри функцій належності термів прогнозованого показника – валютного обмінного курсу в Україні в умовах війни (CER), для якого задано й кількісні, й лінгвістичні характеристики.

Позначимо лінгвістичні змінні факторів EF, PF, WP такими співвідношеннями:

$$EF = f_{EF}(AMC, AR, CRC, II, TB, GDP, FSU), \quad (4)$$

$$PF = f_{PF}(PNBU, RUIO, RUF, RUSP, PSU), \quad (5)$$

$$WF = f_{WF}(W, IMS, MLU, MPSR). \quad (6)$$

Значення прогнозованого показника – валютного обмінного курсу в Україні в умовах війни (CER) – тоді можна задати формулою (7):

$$CER = f_{CER}(EF, PF, WF, t_i), \quad (7)$$

де t_i – час прогнозування (3М – 3 місяці; 6М – 6 місяців; 1Y – 1 рік; 2Y – 2 роки).

Наступним етапом побудови моделі прогнозування валютного обмінного курсу в Україні є побудова функцій належності для всіх факторів і вихідного показника. Функції належності – це описові функції, які визначають діапазон змін оцінок фактора впливу у вигляді термів (лінгвістичні оцінки показників). Усі функції належності будуємо за даними, які визначено експертно в Табл. 1 і за формулою (2) та показано в Додатку А (рис. А.1-А.16). На Рис. 2 показано функцію належності для вихідного показника – валютного обмінного курсу (CER), якому визначено діапазон змін 5...200 грн (відповідно до значень Табл. 1).

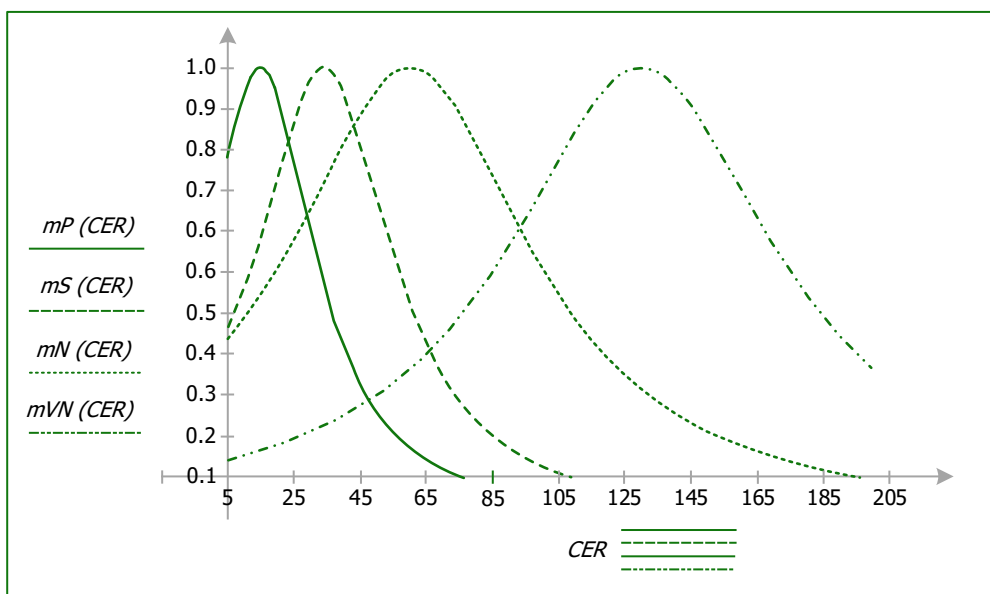


Рис. 2. Функція належності вихідного показника CER.

Для формування рівняння моделі прогнозування валютного обмінного курсу в Україні в умовах війни методами нейролінгвістичного моделювання, крім опису факторів впливу, необхідно також визначити залежності і вплив цих показників на прогнозований показник. Для цього на основі експертних даних розроблено ієрархічні бази знань відповідно до залежностей, визначених формулами (4)...(6), та які показані в Додатку В (таблиці В.1...В.3). Ці залежності являють собою правила «Якщо-То» (Matviychuk et al., 2019). За цим правилом однакові з вихідним значенням правила при формуванні остаточних рівнянь будуть об'єднуватися за допомогою логічного оператора «АБО» («∪»). Також, кожному запису бази знань надається значення «вага правила – q», тобто оцінка якості запису бази (в діапазоні від 0 до 1). Цей показник «q» буде необхідний для виконання процедури налагодження моделі (методами генетичних алгоритмів). Ієрархічну базу знань вихідного показника (CER) відповідно до формули (8) показано в Табл. 2.

Таблиця 2. База знань для вихідного показника CER.

EF	PF	WF	t	CER	q
P	P	P	3M	P	q ₁
S	P	S	6M	P	q ₂
S	P	S	1Y	P	q ₃
S	S	S	3M	S	q ₄
P	S	S	6M	S	q ₅
S	P	P	1Y	S	q ₆
N	P	S	3M	N	q ₇
S	N	N	6M	N	q ₈
P	N	N	1Y	N	q ₉
N	N	N	3M	VN	q ₁₀
S	N	N	3M	VN	q ₁₁
N	P	N	6M	VN	q ₁₂

Сформувавши бази знань впливу вхідних факторів на вихідний показник – валютний обмінний курс в Україні, можна записати рівняння нечіткої логіки. Рівняння залежності факторів EF, PF, WF від відповідних впливів (відповідно до Табл. 1) показане в додатку С (рівняння С.1...С3). Остаточне рівняння моделі прогнозування валютного обмінного курсу України в умовах війни (відповідно до залежностей Табл. 2) показане у вигляді формули (8).

$$\begin{aligned}
 \mu^P(CER) &= q_1 \cdot [\mu^P(EF) \cdot \mu^P(PF) \cdot \mu^P(WF) \cdot \mu^{3M}(t)] \cup \\
 & q_2 \cdot [\mu^S(EF) \cdot \mu^P(PF) \cdot \mu^S(WF) \cdot \mu^{6M}(t)] \cup \\
 & q_3 \cdot [\mu^S(EF) \cdot \mu^P(PF) \cdot \mu^S(WF) \cdot \mu^{1Y}(t)] \cup \\
 \mu^S(CER) &= q_4 \cdot [\mu^S(EF) \cdot \mu^S(PF) \cdot \mu^S(WF) \cdot \mu^{3M}(t)] \cup \\
 & q_5 \cdot [\mu^P(EF) \cdot \mu^S(PF) \cdot \mu^S(WF) \cdot \mu^{6M}(t)] \cup \\
 & q_6 \cdot [\mu^S(EF) \cdot \mu^P(PF) \cdot \mu^P(WF) \cdot \mu^{1Y}(t)]; \\
 \mu^N(CER) &= q_7 \cdot [\mu^N(EF) \cdot \mu^P(PF) \cdot \mu^S(WF) \cdot \mu^{3M}(t)] \cup \\
 & q_8 \cdot [\mu^S(EF) \cdot \mu^N(PF) \cdot \mu^N(WF) \cdot \mu^{6M}(t)] \cup \\
 & q_9 \cdot [\mu^P(EF) \cdot \mu^N(PF) \cdot \mu^N(WF) \cdot \mu^{1Y}(t)]; \\
 \mu^{VN}(CER) &= q_{10} \cdot [\mu^N(EF) \cdot \mu^N(PF) \cdot \mu^N(WF) \cdot \mu^{3M}(t)] \cup \\
 & q_{11} \cdot [\mu^S(EF) \cdot \mu^N(PF) \cdot \mu^N(WF) \cdot \mu^{3M}(t)] \cup \\
 & q_{12} \cdot [\mu^M(EF) \cdot \mu^P(PF) \cdot \mu^N(WF) \cdot \mu^{6M}(t)]
 \end{aligned} \tag{8}$$

Це рівняння (8) і є математичним описом моделі прогнозування валютного обмінного курсу України, за допомогою якого можна зробити прогноз валютного курсу в Україні на найближчу й короткострокову перспективу.

На основі отриманого рівняння економічної моделі прогнозування валютного обмінного курсу в Україні та визначених експертних вхідних значень вхідних змінних моделі станом на 01.01.2025 зробимо прогноз валютного обмінного курсу на 2025-2026 рік. Процес отримання прогнозу будемо виконувати за допомогою формули (3), де замість умовного показника «у» підставимо значення показника CER. Прогноз валютного обмінного курсу в Україні наведено на Рис. 3. Зазначено, що зроблений прогноз виконано з урахуванням більш ніж 250 ітерацій (формула (4) з корегування показника q (початкове значення якого було «1») та параметрів функцій належності b , c термів вхідних факторів моделі (початкові значення яких було показано в Табл. 1).

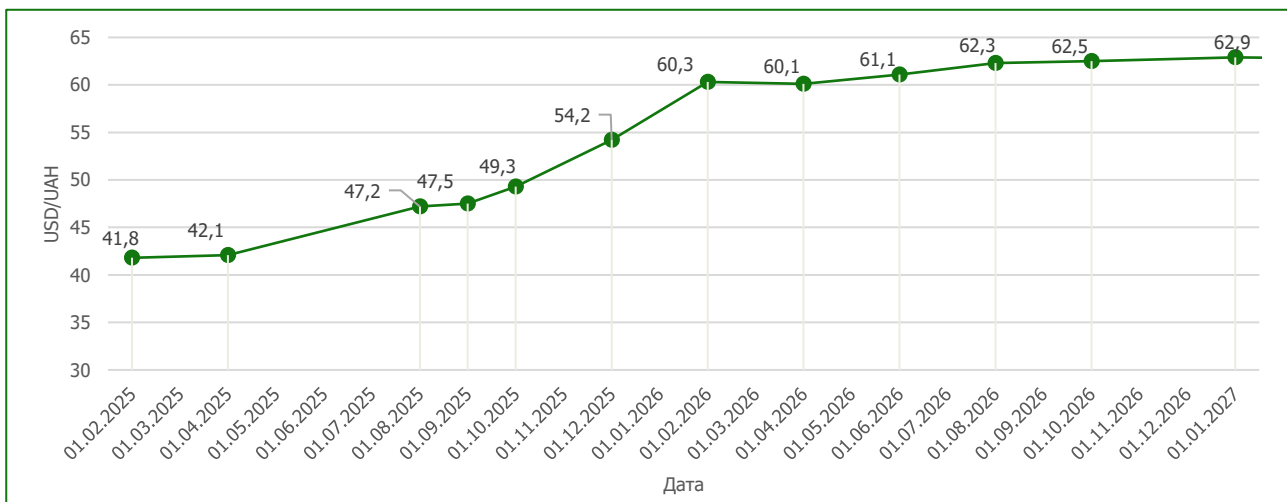


Рис. 3. Прогноз валютного курсу в Україні.

Аналіз цього прогнозу свідчить про негативну тенденцію зміни валютного обмінного курсу USD/UAH. Частково це є закономірною зміною, оскільки в умовах війни, при падінні економіки (Oliinyk & Kozmenko, 2019), масовій міграції населення, підриві основних галузей національної економіки, руйнуванні інфраструктури та втраті економічних і фінансових зв'язків, очікувати зміцнення національної валюти України не варто.

ДИСКУСІЯ

Проблема прогнозування фінансових показників є одним із найскладніших завдань сучасної науки. Існуючі методи прогнозування валютних курсів за допомогою методів технічного та фундаментального аналізу не забезпечують вірогідного прогнозу при використанні якісних вхідних факторів. Методи технічного аналізу (Moosa, 2000) у прогнозуванні валютних курсів базуються на тому, що обмінні курси, які спостерігаються на валютному ринку, визначаються попитом і пропозицією. Технічний аналіз широко використовують, особливо при незначних змінах основних економічних факторів, що впливають на обмінний курс. Популярність технічного аналізу значною мірою пов'язана з незадоволенням фундаментальними моделями визначення обмінного курсу, які мають низьку пояснювальну та прогнозувальну здатність. Поведінка обмінних курсів із моменту появи плаваючого курсу на початку 1970-х років характеризувалася значними відхиленнями від рівноважного курсу, що передбачається фундаментальними моделями, такими як PPP (паритет купівельної спроможності) або монетарна модель (Schröder & Dornau, 2000). Фундаментальний аналіз – це вивчення економічних факторів, які впливають на обмінні курси, з метою прогнозування їхніх майбутніх значень. Спробою об'єднання методів технічного та фундаментального аналізу став метод FTS (Fundamental – Technical – Speculative). Однак і цей метод не забезпечує високої якості прогнозу в умовах дуже нестабільної економіки (Lech, 2003).

Прогнозування валютних курсів можна здійснювати й за допомогою аналітичних моделей (Witkowska, 2005), які базуються на системі гіпотез, сформульованих у математичній формі. Однак і цей метод має невисоку верифікацію, особливо в короткостроковій перспективі, оскільки не враховує якісних факторів (Miciuła, 2014). Економетричні моделі прогнозування валютних курсів, які будують на спостереженні показників та їх інтерполяції, також мають невисокий рівень верифікації в умовах нестабільного економічного, політичного та воєнного стану. Економетричні моделі демонструють високу якість лише в стабільних і маловолатильних економіках, до яких, на жаль, не належить економіка України.

Виходячи з наявної інформації про характер і кількість вхідних факторів впливу на валютний обмінний курс в Україні, а також урахувавши відсутність усіх аналітичних залежностей, що описують зв'язок вхідних факторів із вихідним показником, можна зробити висновок про непридатність класичних методів моделювання (прогнозування) валютних курсів, що передбачають опис процесу диференціальними чи іншими рівняннями. Існуючі моделі прогнозування валютних курсів, які побудовані на основі статистичних даних, зібраних у результаті проведення тисяч досліджень, є дуже трудомісткими й складними. Тому вибір математичного апарата нечітких множин для розв'язання задачі прогнозування валютного обмінного курсу в Україні є доцільним та ефективним. Цей підхід дозволяє формалізувати природні причинно-наслідкові зв'язки між вхідними й вихідними показниками. Застосування теорії нечітких множин дає змогу описати ці зв'язки природною мовою, звільняючи дослідження від трудомістких процедур збирання та обробки великих масивів експериментальних даних.

Дискусійним питанням у проведеному моделюванні є кількість і якість обраних факторів впливу на валютний обмінний курс в Україні в умовах війни. Проте слід зазначити, що кількість факторів у цій моделі може бути розширена відповідно до нових факторів впливу, які можуть з'явитися в умовах воєнних дій в Україні. Це є однією з головних переваг цієї економіко-математичної моделі. Прогноз валютного обмінного курсу в Україні до 01.01.2027 року, отриманий у цьому дослідженні, може бути скоригований шляхом проведення більш повної процедури оптимізації моделі, а також додаванням правил у сформовану базу знань. Оновлення бази знань цієї моделі та виконання більшої кількості ітерацій оптимізації моделі дозволять іще більше підвищити точність прогнозу валютного курсу в Україні.

ВИСНОВКИ

Прогнозування валютного обмінного курсу в умовах війни є абсолютно новою сучасною науковою проблемою. Наукових досліджень із цієї проблематики небагато, оскільки в умовах війни не лише постійно змінюється ситуація в економічній, фінансовій і політичній царинах, а й відбуваються зрушення в геополітичній і міжнародній ситуації у світі. Це призводить до колосального й неконтрольованого виникнення нових факторів впливу на валютний обмінний курс, які просто неможливо врахувати. Для розв'язання цієї проблеми, яка включає облік великої кількості

факторів, їх оцінку та визначення впливу на валютний обмінний курс, доцільно використовувати методи штучного інтелекту, до яких належать методи нечітких множин. Теорія нечітких множин дозволяє і якісно описати фактори впливу на валютний курс, і лінгвістично описати стан вихідного показника (валютного обмінного курсу). Переваги цього математичного апарата для виконання поставленого завдання є беззаперечними.

Основна ідея цього дослідження полягала в прогнозуванні валютного курсу в Україні в умовах війни. Для цього було визначено фактори впливу на валютний обмінний курс. Перевагою вибору цих факторів стало те, що їх можна задати в лінгвістичній формі. Це значно спростило процедуру суб'єктивної оцінки факторів впливу на валютний курс для подальшого моделювання та прогнозування. Розроблена економіко-математична модель прогнозування валютного обмінного курсу в Україні дозволяє на основі і якісних, і кількісних оцінок отримувати вірогідний прогноз валютного курсу в короткостроковій перспективі (до двох років).

Це дослідження пропонує абсолютно новий підхід до прогнозування валютного обмінного курсу в Україні в умовах війни. Цей підхід передбачає використання блоків факторів впливу, таких як економічні, політичні та воєнні фактори. Кожний із цих блоків складається з 4-7 більш детальних факторів впливу, які можуть бути описані методами нейролінгвістичної оцінки. Опис стану цих факторів здійснюється за допомогою термів, які задаються нечіткими описами їхнього стану. Використання нечіткого опису дозволяє зменшити вплив помилкових оцінок при прогнозуванні заданого показника.

Прогнозування валютного курсу є необхідністю для будь-якого господарюючого суб'єкта при розробці заходів із мінімізації економічних втрат у результаті реалізації валютного ризику. Такі втрати можуть виникнути в тому випадку, якщо прогноз валютного курсу господарюючим суб'єктом не виправдався. Іншими словами, якщо розрахункові значення валютного курсу, отримані за допомогою раніше розглянутих моделей, не збіглися з фактичними значеннями курсу, то таке розходження прогнозного значення курсу з фактичним викликано помилкою моделей. Саме помилки моделей прогнозування валютного курсу ми трактуємо як валютний ризик, реалізація якого призводить до збитків у господарюючого суб'єкта. Щоб уникнути цього, суб'єкт має можливість ухвалювати управлінські рішення, які нівелюють його втрати від зміни валютного курсу. Запропоновану в цьому дослідженні модель прогнозування валютного обмінного курсу в Україні можна використовувати як систему підтримки ухвалення управлінських рішень для суб'єктів фінансового ринку України в умовах війни.

Подальші наукові дослідження в царині прогнозування валютного курсу в Україні можуть бути зосереджені на вдосконаленні методів нейролінгвістичного моделювання та розширенні бази факторів впливу, зокрема в контексті динамічних змін у воєнній, політичній та економічній царинах. Перспективним напрямом є інтеграція машинного навчання та гібридних методів штучного інтелекту для підвищення точності прогнозування, а також використання адаптивних алгоритмів, що враховують короткострокові та довгострокові ризики. Додатково слід дослідити вплив міжнародної фінансової підтримки, санкційної політики та змін у глобальній економіці на валютний курс України. Окрему увагу варто приділити розробці практичних рекомендацій для державних установ і бізнесу щодо управління валютними ризиками на основі отриманих прогнозів.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ВНЕСОК АВТОРІВ

Розробка концепції: *Козловський С.*

Супровід даних: *Кулініч Т., Заюков І.*

Формальний аналіз: *Лавров Р., Козловський А.*

Методологія: *Козловський С.*

Програмне забезпечення: *Козловський А., Козловський О.*

Джерела: *Кулініч Т., Заюков І.*

Контроль: *Козловський А., Козловський О.*

Перевірка: *Лавров Р., Заюков І.*

Дослідження: *Козловський С., Козловський А.*

Візуалізація: *Лавров Р., Козловський О.*

Управління проєктом: *Козловський С.*

Залучення фінансування: *Кулініч Т., Лавров Р.*

Написання – рецензування та редагування: *Козловський С., Кулініч Т.*

Написання - оригінальний рукопис: *Козловський С.*

ФІНАНСУВАННЯ

Автори не отримували фінансування для цього рукопису.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES / ЛІТЕРАТУРА

1. Advanter Group (2022). Official site. <https://advanter.ua/>
2. Asadullah, M., Bashir, A., & Aleemi, A. R. (2021). Forecasting Exchange Rates: An Empirical Application to Pakistani Rupee. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 8(4), 339-347. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2021.vol8.no4.0339>
3. Al-Gounmein, R. S., & Ismail, M. T. (2020). Forecasting the exchange rate of the Jordanian Dinar versus the US dollar using a Box-Jenkins seasonal ARIMA Model. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, 15(1), 27-40. <https://future-in-tech.net/15.1/R-AlGounmeein.pdf>
4. Bilenko, D., Kozlovskiy, S., Ivanyuta, N., Baidala, V., Lavrov, R., & Kozlovskiy, V. (2022). Efficiency Assessment of Tax Measures in the European Countries Against the Effects of COVID-19. *Problems of sustainable development*, 17(1), 16-22. <https://doi.org/10.35784/pe.2022.1.02>
5. Board (2022). Official site. <https://board.business/>
6. Boero, G., & Marrocu, E. (2002). The Performance of Non-linear Exchange Rate Models a Forecasting Comparison. *Journal of Forecasting*, 21(7), 513-542. <http://dx.doi.org/10.1002/for.837>
7. Ding, Y., Li, S., & Li, L. (2009). An Analysis on the Chaos Behavior of currency Exchange Rate Undulation. *First International Workshop on Education Technology and Computer Science*, 2, 599-602. <http://dx.doi.org/10.1109/ETCS.2009.394>
8. Dunis, C. L., Laws, J., & Sermpinis, G. (2009). Modeling and trading the EUR/USD exchange rate at the ECB fixing. *European Journal Finance*, 16(6), 541-560. <http://dx.doi.org/10.1080/13518470903037771>
9. Federici, D., & Gandolfo, G. (2011). The Euro/Dollar Exchange Rate: Chaotic or Non-Chaotic? Esifo Area Conference on Macro. Money and International Finance, Munich. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/46414/1/66018074X.pdf>
10. Hetmantsev, D. (2010). The state as a party to a financial and legal obligation. *Pravo Ukraini*, 8, 130-134. https://pravoua.com.ua/uk/store/pravoukr/pravoukr_2010_8
11. Huang, S. C., Chuang, P. J., Wu, C. F., & Lai, H. J. (2010). Chaos-based support vector regressions for exchange rate forecasting. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 8590-8598. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.001>
12. IMF «International Monetary Fund» (2024). Official site. <https://www.imf.org>
13. Kaletnik, G. M., Zabolotnyi, G. M., & Kozlovskiy, S. V. (2011). Innovative models of strategic management economic potential within contemporary economic systems. *Actual Problems of Economics*, 4(118), 3-11. <http://socrates.vsu.org/repository/getfile.php/24702.pdf>
14. Kozlovskiy, S. V. (2001). Application of the latest methods of modeling the state of the currency market of Ukraine. *Bulletin of the Ternopil Academy of National Economy*, 12, 80-91.
15. Kozlovskiy, S. V., & Kozlovskiy, V. O. (2005). Macroeconomic modelling and forecasting of the exchange rate in Ukraine. Vinnytsia: Kniga-Vega.
16. Kozlovskiy, S. V., & Gerasimenko, Y. V. (2007). Investment processes modelling in Ukraine agroindustrial complex. Vinnytsia: Globe Press.
17. Kozlovskiy, S. V., & Pchelyanska, G. O. (2010). Modeling of pricing processes in agroindustrial complex of Ukraine. *Economics of APK*, 2, 66-73.
18. Kozlovskiy, S. V. (2010). Management of modern economic systems, their development and suitability. Vinnytsia: Mercuri-Podillia.
19. Kozlovskiy, S. V., & Kireieva, E. A. (2014). Management of regional food security on the basis of the innovative method of modeling – fuzzy logic. *Economy and state*, 3, 18-23. http://www.economy.in.ua/pdf/3_2014/5.pdf
20. Kozlovskiy, S. V., & Burlaka, O. M. (2014). Modelling and forecasting of sustainability of the region's agrarian sector on the basis of the theory of fuzzy logic. *Economic forum*, 3, 83-96. <https://e-forum.com.ua/uk/journals/tom-1-3-2014>
21. Kozlovskiy, S. V., & Zhurakivskiy, Y. S. (2016). Modelling and forecasting the level of economic safety of the agrarian sector of Vinnitsa region by means of the fuzzy logic theory. *Economic Prostir*, 107, 112-125.
22. Kozlovskiy, S. V., & Mazur, H. F. (2017). Simulation and forecasting of the level of state stimulation of agroindustrial production in Ukraine on the basis of the theory of fuzzy logic. *Economy and state*, 9, 8-15. http://www.economy.in.ua/pdf/9_2017/4.pdf
23. Kozlovskiy, S., Butyrskiy, A., Poliakov, B., Bobkova, A., Lavrov, R., & Ivanyuta, N. (2019). Management and comprehensive assessment of the probability of bankruptcy of Ukrainian enterprises based on the methods of fuzzy sets theory. *Problems and Perspectives in Management*, 17(3), 370-381. [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.17\(3\).2019.30](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.17(3).2019.30)
24. Kozlovskiy, S., Nikolenko, L., Peresada, O., Pokhyliuk, O., Yatchuk, O., Bolgarova, N., & Kulhanik, O. (2020).

- Estimation level of public welfare on the basis of methods of intellectual analysis. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 6(3), 355-372. <http://dx.doi.org/10.22034/gjesm.2020.03.06>
25. Kozlovskiy, S., Petrunenko, Ia., Baidala, V., Myronchuk, V., & Kulinich, T. (2021a). Assessment of public welfare in Ukraine in the context of the COVID-19 pandemic and economy digitalization. *Problems and Perspectives in Management*, 19(1), 416-431. [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.19\(1\).2021.35](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.19(1).2021.35)
 26. Kozlovskiy, S., Khadzhyonov, I., Varshavska, N., Petrunenko, Ia., Draskovic, M., Kornichuk, O., & Lavrov, R. (2021b). Competitiveness of the agrarian sector of Ukraine in the conditions of integration to the European market. Montenegro: ELIT, Podgorica. https://r.donnu.edu.ua/bitstream/123456789/1503/1/Book_Oblojka_Kozlovskiy_et_al_2021.pdf
 27. Kozlovskiy, S., Bilenko, D., Ivanyuta, N., Tomchuk, O., Prykaziuk, N., & Lobova, O. (2021c). Comparative Assessment of the Different Cryptocurrencies Investment Efficiency on the Different Time Periods. *Montenegrin Journal of Economics*, 17(4), 189-198. https://r.donnu.edu.ua/bitstream/123456789/1503/1/Book_Oblojka_Kozlovskiy_et_al_2021.pdf
 28. Kvetnyi, R. N., & Kozlovskiy, S. V. (2001). Mathematical modeling of the state currency market, on the basis of fuzzy logic. *Visnyk VPI*, 2(35), 47-58.
 29. Lin, C. S., Chiu, S. H., & Lin, T. Y. (2012). Empirical mode decomposition-based least squares support vector regression for foreign exchange rate forecasting. *Economic Modelling*, 29(6), 2583-2590. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2012.07.018>
 30. Lech, A. (2003). Risk Management – Key to Stability. WIB Publishing House, Warsaw.
 31. Matviychuk, A., Lukianenko, O., & Miroshnychenko, I. (2019). Neuro-fuzzy model of country's investment potential assessment. *Fuzzy Economic Review*, 24(2). <http://www.sigef.net/2014-09-26-07-16-23/summaries-and-abstracts/item/653-neuro-fuzzy-model-of-country-s-investment-potential-assessment>
 32. Miciuła, I. (2014). The Concept of FTS Analysis in Forecasting Trends of Exchange Rate Changes. *Economics & Sociology*, 7(2), 172-182. https://www.economics.sociology.eu/files/19_95_Miciuła.pdf
 33. Meade, N. (2002). A comparison of the accuracy of short term foreign exchange. *International Journal of Forecasting*, 18(1), 67-83. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(01\)00111-X](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(01)00111-X)
 34. MEU «Ministry of Economy of Ukraine» (2022). Official site. <https://www.me.gov.ua>
 35. MFU «Ministry of Finance of Ukraine» (2022). Official site. <https://www.mof.gov.ua>
 36. Moosa, I.A. (2000). Technical Analysis. In: Exchange Rate Forecasting: Techniques and Applications. Finance and Capital Markets Series. Palgrave Macmillan, London. https://link.springer.com/chapter/10.1057/9780230379008_7
 37. NBU «National Bank of Ukraine» (2022). Official site. <https://bank.gov.ua>
 38. Oliinyk, V., & Kozmenko, S. (2019). Forecasting and management of gross domestic product. *Journal of International Studies*, 12(4), 214-228. https://www.jois.eu/files/14_799_Oliinyk_Kozmenko.pdf
 39. Panoshichen, Y., Kozachko, O., & Panoshichena, I., (2010). Fuzzy model for assessing the creditworthiness of individuals-borrowers of commercial banks. *Vis. HNU*, 1(t2), 161-168.
 40. Pratar, R. (1999). Getting started with Matlab 5. A quick introduction for scientists and engineers. Oxford University Press. https://books.google.com.ua/books/about/Getting_Started_with_MATLAB_5.html?id=CokPQgAACAAJ&redir_esc=y
 41. Poon, S., & Granger, C. W. J. (2003). Forecasting volatility in financial markets: A review. *Journal of Economic Literature*, 41, 478-538. <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/002205103765762743>
 42. Qia, M., & Wu, Y. (2002). Nonlinear prediction of exchange rates with monetary fundamentals. *Journal of Empirical Finance*, 10(5), 623-640. [http://dx.doi.org/10.1016/S0927-5398\(03\)00008-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0927-5398(03)00008-2)
 43. Radhwan, A., Kamel, M., Dahad, M., & Hassanien, A. (2015). Forecasting Exchange Rates: A Chaos-Based Regression Approach. *International Journal of Rough Sets and Data Analysis*, 2(1), 38-57. <https://www.igi-global.com/article/forecasting-exchange-rates/122778>
 44. Rotshtein, A. (1999). Intellectual identification technologies: fuzzy logic, genetic algorithms, neural networks. Vinnitsia: Universum. http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Rotshtejn_1999_320.pdf
 45. Rotshtein, A., & Shtovba, S. (2009). Modeling of the Human Operator Reliability with the Aid of the Sugeno Fuzzy Knowledge Base. *Automation and Remote Control*, 70, 163-169. <http://dx.doi.org/10.1134/S0005117909010123>
 46. Rotshtein, A., & Shtovba, S. (2007). Genetic Optimization of Multidimensional Technological Process Reliability. *Computational Intelligence in Reliability Engineering (SCI)*, 39, 287-300. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-37368-1_9
 47. Rotshtein, A.P., & Shtovba, S.D. (2002). Influence of Defuzzification Methods on the Rate of Tuning a Fuzzy Model. *Cybernetics and Systems Analysis*, 38, 783-789. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1021851228684>
 48. Sharma, S., Aggarwal, V., & Yadav, M.P. (2021). Comparison of linear and non-linear GARCH models for forecasting volatility of select emerging countries. *Journal of Advances in Management Research*, 18(4), 526-547. <http://dx.doi.org/10.1108/JAMR-07-2020-0152>

49. Schröder, M., & Dornau, R. (2000). Do Forecasters use Monetary Models? An Empirical Analysis of Exchange Rate Expectations. *Applied Financial Economics*, 12(8), 535-543. <http://dx.doi.org/10.1080/09603100010013646>
50. Strozzi, F., & Comenges, J. M. Z. (2006). Towards a non-linear trading strategy for financial time series. *Chaos, Solitons, and Fractals*, 28(3), 601-615. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chaos.2005.08.006>
51. Strozzi, F., & Zaldivar, J. M. (2005). Non-linear forecasting in high-frequency financial time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 353, 463-479. <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2005.01.047>
52. The World Bank (2024). Official site. <https://www.worldbank.org>
53. Torkamani, M. A., Mahmoodzadeh, S., Pourroostaei, S., & Lucas, C. (2007). Chaos Theory and Application in Foreign Exchange Rates vs. IRR (Iranian Rial). *International Journal of Humanities and Social Science*, 1(3). https://www.researchgate.net/publication/239602450_Chaos_Theory_and_Application_in_Foreign_Exchange_Rates_vs_IRR_Iranian_Rial
54. Witkowska, D. (2005). Basic Econometrics and Forecasting Theory. Economic Publishing House Cracow.
55. WTO «World Trade Organization» (2024). Official site. <https://www.worldbank.org>
56. Zadeh, L. (1976). The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions. *Information Sciences*, 8(3), 199-249. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)
57. Zhi, Su, Xuanye, Cai, & You, Wu (2022). Exchange rates forecasting and trend analysis after the COVID-19 outbreak: new evidence from interpretable machine learning. *Applied Economics Letters*, 30(15), 2052-2059. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13504851.2022.2089621?needAccess=true>

Serhii Kozlovskiy, Tetiana Kulinich, Ruslan Lavrov, Ivan Zayukov, Andrii Kozlovskiy, Oleksandr Kozlovskiy

MODELLING AND FORECASTING THE EXCHANGE RATE IN UKRAINE USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

The issue of forecasting financial indicators, particularly exchange rates, is among the most complex and pressing challenges in modern economics and finance. Since the onset of Russia's full-scale war against Ukraine on February 24, 2022, the complexity and importance of exchange rate forecasting in Ukraine have significantly increased. Accurate forecasting has become critically essential for sustaining the national economy during wartime. The study focuses on the mid-market exchange rate of the Ukrainian hryvnia (UAH) against the US dollar (USD). The research subject involves employing instrumental and economic-mathematical methods of artificial intelligence and fuzzy set theory to create verified forecasts for up to two years. The research hypothesizes that, under wartime conditions, the hryvnia exchange rate could depreciate by half by 2025 within two years. The purpose of the research is to forecast Ukraine's exchange rate using neuro-linguistic modelling methods, enabling the description of influencing factors in a linguistic form and producing forecasts in both quantitative and qualitative forms. The study identifies 16 key influencing factors, grouped into economic, political, and military categories, which are also described linguistically. The research outcome is an economic-mathematical model for exchange rate forecasting in Ukraine, which has been used to predict the exchange rate over a two-year horizon. According to the estimates, the hryvnia-to-dollar exchange rate may decrease by 50% during this period. The results could be useful for Ukrainian state institutions in planning economic policies under wartime conditions and may also interest international organizations, agencies, and funds in developing economic and financial relations.

Keywords: forecasting, modelling, exchange rate, artificial intelligence, economy, finance, fuzzy set theory, central bank, war

JEL Classification: C53, E47, F31, F37

ФУНКЦІЯ НАЛЕЖНОСТІ ЗМІННИХ МОДЕЛІ

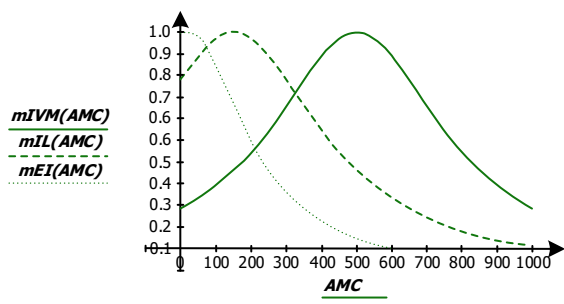


Рис. А.1. Функція належності змінної AMC.

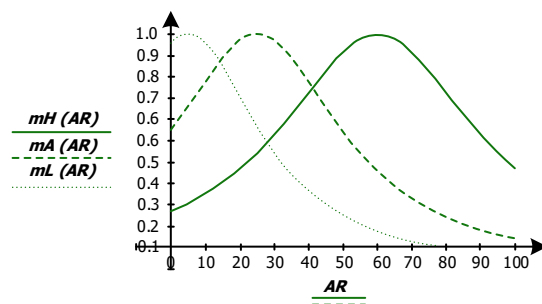


Рис. А.2. Функція належності змінної.

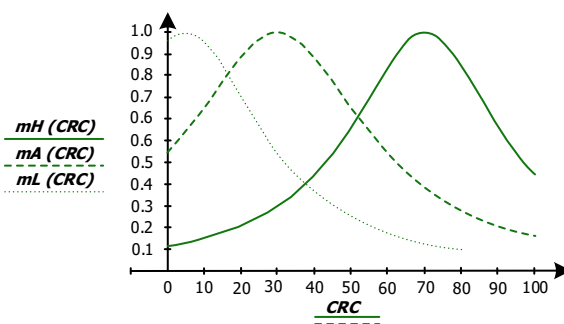


Рис. А.3. Функція належності змінної CRC.

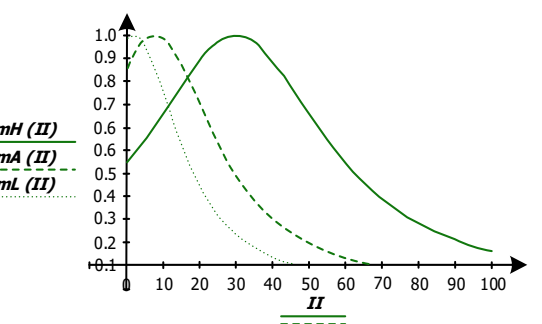


Рис. А.4. Функція належності змінної II.

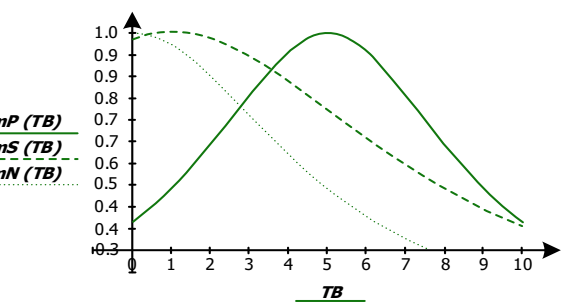


Рис. А.5. Функція належності змінної TB.

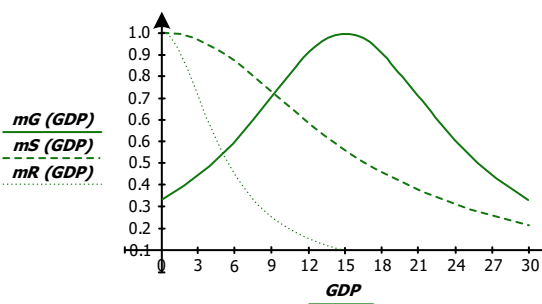


Рис. А.6. Функція належності змінної GDP.

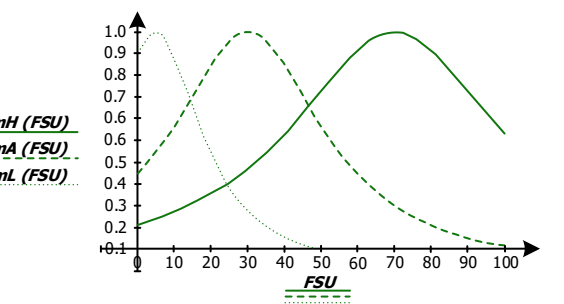


Рис. А.7. Функція належності змінної FSU.

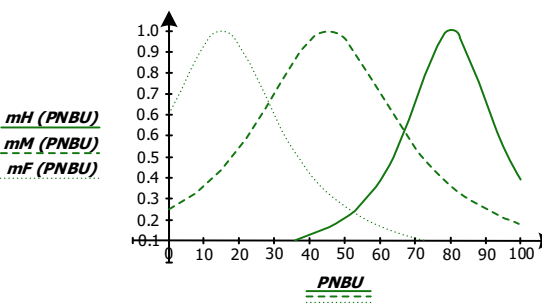


Рис. А.8. Функція належності змінної PNB.

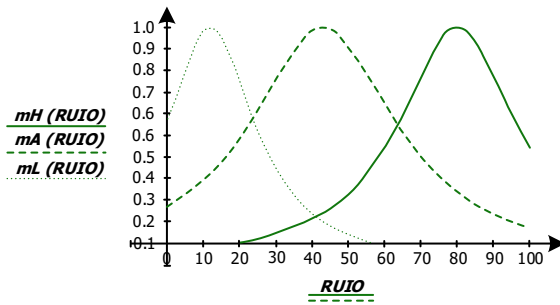


Рис. А.9. Функція належності змінної RUIO.

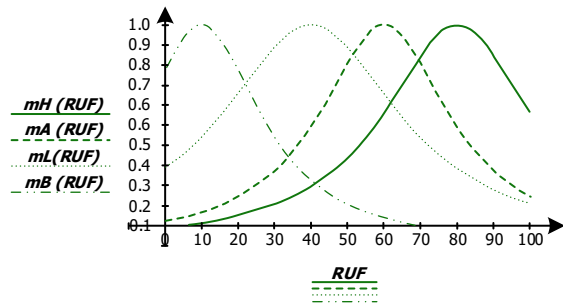


Рис. А.10. Функція належності змінної RUF.

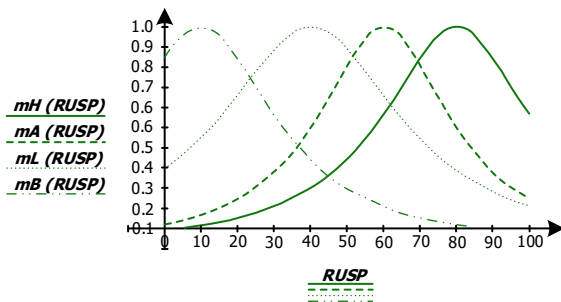


Рис. А.11. Функція належності змінної RUSP.

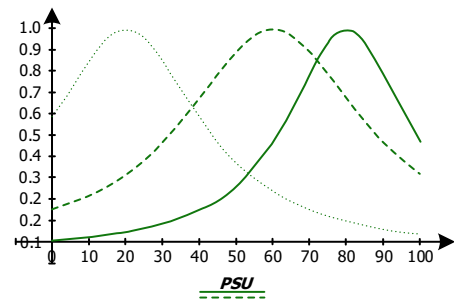


Рис. А.12. Функція належності змінної PSU*. Note: * Similar plots for membership functions: EF, PF, WF

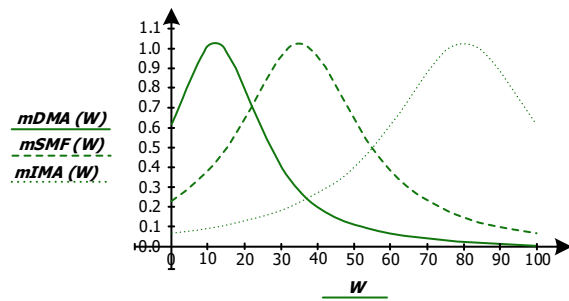


Рис. А.13. Функція належності змінної W.

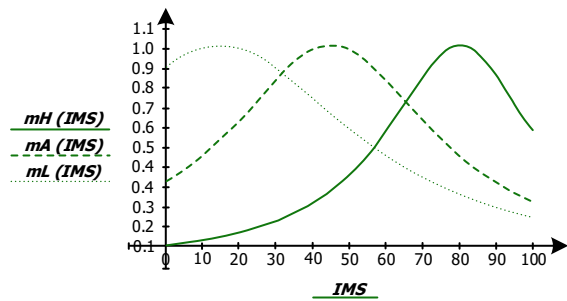


Рис. А.14. Функція належності змінної IMS.

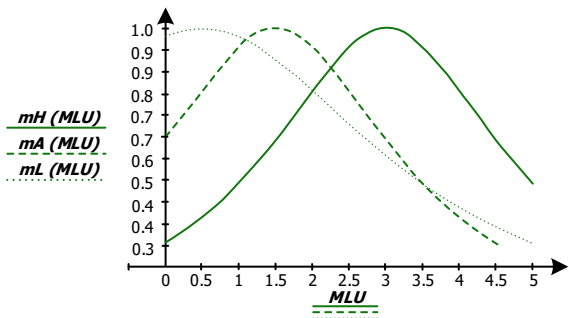


Рис. А.15. Функція належності змінної MLU.

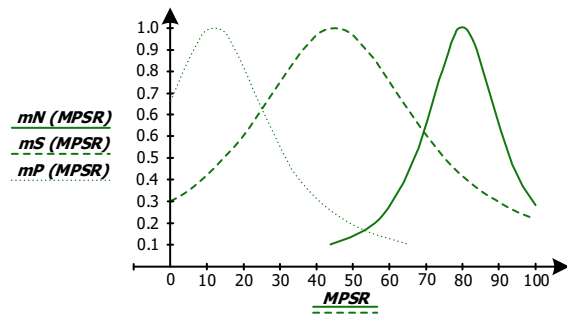


Рис. А.16. Функція належності змінної MPSR.

БАЗИ ЗНАНЬ

Таблиця В.1. База знань вихідного показника EF.

AMC	AR	CRC	II	TB	GDP	FSU	EF	q
EI	L	H	L	P	G	H	P	q13
IL	L	H	A	P	G	A	P	q14
EI	A	A	L	S	G	H	P	q15
EI	L	A	A	P	G	H	P	q16
IL	A	A	A	S	G	H	S	q17
EI	L	H	L	S	S	S	S	q18
IL	A	A	A	P	S	S	S	q19
IL	A	L	L	P	G	A	S	q20
IVM	L	L	H	S	S	L	N	q21
IL	A	L	A	S	N	A	N	q22
IVM	A	A	H	N	R	L	N	q23
IVM	H	L	H	N	R	L	N	q24

Таблиця В.2. База знань вихідного показника PF.

PNBU	RUIO	RUF	RUSP	PSU	PF	q
F	H	H	H	P	P	q25
F	A	H	A	P	P	q26
F	H	A	H	S	P	q27
M	H	A	A	P	P	q28
M	A	H	A	S	S	q29
M	A	A	A	S	S	q30
F	A	A	A	P	S	q31
H	H	A	L	P	S	q32
H	H	B	B	S	N	q33
M	A	B	L	S	N	q34
H	Y	L	B	N	N	q35
H	L	B	B	N	N	q36

Таблиця В.3. База знань вихідного показника WF.

W	IMS	MLU	MPSR	WF	q
DMA	H	L	N	P	q37
DMA	A	L	N	P	q38
SMF	H	A	N	P	q39
DMA	A	L	S	P	q40
SMF	A	A	S	S	q41
SMF	A	L	P	S	q42
SMF	H	L	S	S	q43
IMA	H	A	S	S	q44
IMA	A	H	P	N	q45
SMF	H	A	P	N	q46
IMA	L	H	S	N	q47
IMA	L	H	P	N	q48

РІВНЯННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

$$\begin{aligned}
\mu^P(EF) &= q_{13} \cdot [\mu^{EI}(AMC) \cdot \mu^L(AR) \cdot \mu^H(CRC) \cdot \mu^L(II) \cdot \mu^P(TB) \cdot \mu^G(GDP) \cdot \mu^H(FSU)] \cup \\
& q_{14} \cdot [\mu^{LL}(AMC) \cdot \mu^L(AR) \cdot \mu^H(CRC) \cdot \mu^A(II) \cdot \mu^P(TB) \cdot \mu^G(GDP) \cdot \mu^A(FSU)] \cup \\
& q_{15} \cdot [\mu^{EI}(AMC) \cdot \mu^A(AR) \cdot \mu^A(CRC) \cdot \mu^L(II) \cdot \mu^S(TB) \cdot \mu^G(GDP) \cdot \mu^H(FSU)] \cup \\
& q_{16} \cdot [\mu^{EI}(AMC) \cdot \mu^L(AR) \cdot \mu^A(CRC) \cdot \mu^A(II) \cdot \mu^P(TB) \cdot \mu^G(GDP) \cdot \mu^H(FSU)]; \\
\mu^S(EF) &= q_{17} \cdot [\mu^{LL}(AMC) \cdot \mu^A(AR) \cdot \mu^A(CRC) \cdot \mu^A(II) \cdot \mu^S(TB) \cdot \mu^G(GDP) \cdot \mu^H(FSU)] \cup \\
& q_{18} \cdot [\mu^{EI}(AMC) \cdot \mu^L(AR) \cdot \mu^H(CRC) \cdot \mu^L(II) \cdot \mu^S(TB) \cdot \mu^S(GDP) \cdot \mu^S(FSU)] \cup \\
& q_{19} \cdot [\mu^{LL}(AMC) \cdot \mu^A(AR) \cdot \mu^A(CRC) \cdot \mu^A(II) \cdot \mu^P(TB) \cdot \mu^S(GDP) \cdot \mu^S(FSU)] \cup \\
& q_{20} \cdot [\mu^{LL}(AMC) \cdot \mu^A(AR) \cdot \mu^L(CRC) \cdot \mu^L(II) \cdot \mu^P(TB) \cdot \mu^G(GDP) \cdot \mu^A(FSU)]; \\
\mu^N(EF) &= q_{21} \cdot [\mu^{IVM}(AMC) \cdot \mu^L(AR) \cdot \mu^L(CRC) \cdot \mu^H(II) \cdot \mu^S(TB) \cdot \mu^S(GDP) \cdot \mu^L(FSU)] \cup \\
& q_{22} \cdot [\mu^{LL}(AMC) \cdot \mu^A(AR) \cdot \mu^L(CRC) \cdot \mu^A(II) \cdot \mu^S(TB) \cdot \mu^N(GDP) \cdot \mu^A(FSU)] \cup \\
& q_{23} \cdot [\mu^{IVM}(AMC) \cdot \mu^A(AR) \cdot \mu^A(CRC) \cdot \mu^H(II) \cdot \mu^N(TB) \cdot \mu^R(GDP) \cdot \mu^L(FSU)] \cup \\
& q_{24} \cdot [\mu^{IVM}(AMC) \cdot \mu^H(AR) \cdot \mu^L(CRC) \cdot \mu^H(II) \cdot \mu^N(TB) \cdot \mu^R(GDP) \cdot \mu^L(FSU)]
\end{aligned} \tag{C.1}$$

$$\begin{aligned}
\mu^P(PF) &= q_{25} \cdot [\mu^F(PNBU) \cdot \mu^H(RUIO) \cdot \mu^H(RUF) \cdot \mu^H(RUSP) \cdot \mu^P(PSU)] \cup \\
& q_{26} \cdot [\mu^F(PNBU) \cdot \mu^A(RUIO) \cdot \mu^H(RUF) \cdot \mu^A(RUSP) \cdot \mu^P(PSU)] \cup \\
& q_{27} \cdot [\mu^F(PNBU) \cdot \mu^H(RUIO) \cdot \mu^A(RUF) \cdot \mu^H(RUSP) \cdot \mu^S(PSU)] \cup \\
& q_{28} \cdot [\mu^M(PNBU) \cdot \mu^H(RUIO) \cdot \mu^A(RUF) \cdot \mu^A(RUSP) \cdot \mu^P(PSU)]; \\
\mu^S(PF) &= q_{29} \cdot [\mu^M(PNBU) \cdot \mu^A(RUIO) \cdot \mu^H(RUF) \cdot \mu^A(RUSP) \cdot \mu^S(PSU)] \cup \\
& q_{30} \cdot [\mu^M(PNBU) \cdot \mu^A(RUIO) \cdot \mu^A(RUF) \cdot \mu^A(RUSP) \cdot \mu^S(PSU)] \cup \\
& q_{31} \cdot [\mu^F(PNBU) \cdot \mu^A(RUIO) \cdot \mu^A(RUF) \cdot \mu^A(RUSP) \cdot \mu^P(PSU)] \cup \\
& q_{32} \cdot [\mu^H(PNBU) \cdot \mu^H(RUIO) \cdot \mu^A(RUF) \cdot \mu^L(RUSP) \cdot \mu^P(PSU)]; \\
\mu^N(PF) &= q_{33} \cdot [\mu^H(PNBU) \cdot \mu^H(RUIO) \cdot \mu^B(RUF) \cdot \mu^B(RUSP) \cdot \mu^S(PSU)] \cup \\
& q_{34} \cdot [\mu^M(PNBU) \cdot \mu^A(RUIO) \cdot \mu^B(RUF) \cdot \mu^L(RUSP) \cdot \mu^S(PSU)] \cup \\
& q_{35} \cdot [\mu^H(PNBU) \cdot \mu^L(RUIO) \cdot \mu^L(RUF) \cdot \mu^B(RUSP) \cdot \mu^N(PSU)] \cup \\
& q_{36} \cdot [\mu^H(PNBU) \cdot \mu^L(RUIO) \cdot \mu^B(RUF) \cdot \mu^B(RUSP) \cdot \mu^N(PSU)].
\end{aligned} \tag{C.2}$$

$$\begin{aligned}
\mu^P(WF) &= q_{37} \cdot [\mu^{DNA}(W) \cdot \mu^H(IMS) \cdot \mu^L(MLU) \cdot \mu^N(MPSR)] \cup \\
& q_{38} \cdot [\mu^{DNA}(W) \cdot \mu^A(IMS) \cdot \mu^L(MLU) \cdot \mu^N(MPSR)] \cup \\
& q_{39} \cdot [\mu^{SMF}(W) \cdot \mu^H(IMS) \cdot \mu^A(MLU) \cdot \mu^N(MPSR)] \cup \\
& q_{40} \cdot [\mu^{DNA}(W) \cdot \mu^A(IMS) \cdot \mu^L(MLU) \cdot \mu^S(MPSR)]; \\
\mu^S(WF) &= q_{41} \cdot [\mu^{SMF}(W) \cdot \mu^A(IMS) \cdot \mu^A(MLU) \cdot \mu^S(MPSR)] \cup \\
& q_{42} \cdot [\mu^{SMF}(W) \cdot \mu^A(IMS) \cdot \mu^L(MLU) \cdot \mu^P(MPSR)] \cup \\
& q_{43} \cdot [\mu^{SMF}(W) \cdot \mu^H(IMS) \cdot \mu^L(MLU) \cdot \mu^S(MPSR)] \cup \\
& q_{44} \cdot [\mu^{IMA}(W) \cdot \mu^H(IMS) \cdot \mu^A(MLU) \cdot \mu^S(MPSR)]; \\
\mu^N(WF) &= q_{45} \cdot [\mu^{IMA}(W) \cdot \mu^A(IMS) \cdot \mu^H(MLU) \cdot \mu^P(MPSR)] \cup \\
& q_{46} \cdot [\mu^{SMF}(W) \cdot \mu^H(IMS) \cdot \mu^A(MLU) \cdot \mu^P(MPSR)] \cup \\
& q_{47} \cdot [\mu^{IMA}(W) \cdot \mu^L(IMS) \cdot \mu^H(MLU) \cdot \mu^S(MPSR)] \cup \\
& q_{48} \cdot [\mu^{IMA}(W) \cdot \mu^L(IMS) \cdot \mu^H(MLU) \cdot \mu^P(MPSR)].
\end{aligned} \tag{C.3}$$