

УДК 336.2:330.4:519.816

Денисенко Віктор Сергійович

кандидат фізико-математичних наук,
доцент,
доцент кафедри моделювання економіки
і бізнесу

Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького
ORCID: 0000-0002-3476-6747

Поковба Дмитро Васильович

здобувач третього (освітньо-наукового)
рівня вищої освіти
за спеціальністю 051 «Економіка»

Черкаського національного університету
імені Богдана Хмельницького
ORCID: 0000-0002-7186-5461

<https://doi.org/10.25313/3083-7782-2026-5-29>

ІНТЕГРАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ АДАПТАЦІЙНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ПОДАТКОВОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ У ВОЄННИЙ І ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОДИ

Анотація. Вступ. Повномасштабна війна, структурне скорочення економічної активності, зростання бюджетного дефіциту та потреби у фінансуванні сектору безпеки суттєво ускладнюють забезпечення фінансової стійкості держави. За таких умов податкова система повинна не лише забезпечувати стабільність бюджетних надходжень, але й демонструвати здатність до швидкого реагування на кризові шоки, підтримувати економічну активність та сприяти післявоєнному відновленню економіки. Традиційні економетричні підходи не дозволяють повною мірою врахувати нелінійний характер взаємозв'язків, багатокритеріальність та високий рівень невизначеності, характерний для сучасних кризових процесів. У зв'язку з цим актуалізується необхідність використання методів нечіткої логіки, здатних формалізувати складні соціально-економічні системи за умов неповної визначеності.

Мета. Метою дослідження є розроблення концептуально-методичного підходу до інтегрального оцінювання адаптаційної спроможності податкової системи України на основі багаторівневої нечіткої моделі Мамдані в умовах воєнних і післявоєнних трансформацій.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) офіційні статистичні дані щодо функціонування податкової системи України у 2018–2025 рр.; 2) наукові праці вітчизняних і зарубіжних авторів з проблематики нечіткого моделювання, фінансової стійкості та адаптивності податкових систем; 3) аналітичні матеріали щодо макроекономічних і фінансових трансформацій в умовах воєнної економіки. У процесі дослідження використано такі наукові методи: системного аналізу (при формуванні структури інтегрального індексу адаптаційної спроможності); аналізу та синтезу (при відборі показників і побудові субіндексів); методів теорії нечітких множин і нечіткого логічного висновку Мамдані (при побудові багаторівневої нечіткої моделі); сценарного аналізу (при прогнозуванні розвитку адаптаційної спроможності податкової системи); теоретичного узагальнення (при інтерпретації результатів моделювання).

Результати. У статті запропоновано науково обґрунтований підхід до інтегрального оцінювання адаптаційної спроможності податкової системи України в умовах воєнних і післявоєнних трансформацій. Адаптаційна спроможність інтерпретується як здатність системи забезпечувати стабільність фінансових надходжень, гнучко реагувати на макроекономічні шоки та підтримувати бюджетну рівновагу. Розроблено багаторівневу нечітку модель на основі алгоритму Мамдані, що агрегує чотири субіндекси: фінансової результативності, гнучкості податкової політики, структурної стійкості податкової бази та інституційної спроможності. Доведено переваги використання нечіткої логіки для моделювання нелінійних взаємозв'язків і невизначеності. Отримано динаміку інтегрального показника за 2018–2025 рр. та здійснено сценарне прогнозування, що дозволяє використовувати модель як інструмент стратегічного аналізу фінансової політики.



Copyright © The Author(s).

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Перспективи. У подальших наукових дослідженнях доцільно вдосконалити структуру інтегральної моделі шляхом включення показників податкової дисципліни, рівня тінізації економіки, екологічних і поведінкових чинників, а також використання адаптивних нейро-нечітких систем та методів машинного навчання для автоматизованої оптимізації функцій належності й бази нечітких правил.

Ключові слова: адаптаційна спроможність, податкова система, інтегральне оцінювання, нечітке моделювання, нечітка модель Мамдані, фіскальна політика, сценарне прогнозування.

Постановка проблеми. У сучасних умовах воєнних і післявоєнних трансформацій податкова система України функціонує під впливом масштабних макроекономічних, соціальних та інституційних шоків. Повномасштабна війна, структурне скорочення економічної активності, зростання бюджетного дефіциту та потреби у фінансуванні сектору безпеки суттєво підвищують вимоги до стійкості й адаптивності фіскальної системи. За таких умов податкова система повинна не лише забезпечувати стабільність надходжень до бюджету, але й швидко реагувати на зміну зовнішнього середовища, підтримувати економічну активність та зберігати керованість у ситуації високої невизначеності.

Традиційні підходи до оцінювання ефективності податкової системи ґрунтуються переважно на аналізі окремих фінансово-фіскальних показників, таких як рівень податкових надходжень, податкове навантаження або дефіцит бюджету. Проте в умовах кризових трансформацій цього недостатньо для адекватної оцінки адаптаційної спроможності системи. Виникає необхідність врахування нелінійних взаємозв'язків між економічними, інституційними та соціальними факторами, а також високого рівня невизначеності, характерного для воєнної економіки.

Особливої актуальності набуває проблема формування інтегрального інструментарію, який дозволив би комплексно оцінювати здатність податкової системи адаптуватися до кризових шоків, підтримувати фіскальну стабільність та забезпечувати умови для післявоєнного відновлення економіки. У цьому контексті перспективним є використання апарату нечіткої логіки, що дає змогу моделювати складні соціально-економічні системи за умов часткової невизначеності та відсутності чітких меж між стійкими й нестійкими станами.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання запропонованої моделі для моніторингу стану податкової системи, прогнозування її адаптаційної спроможності та підтримки прийняття управлінських рішень у сфері державної фіскальної політики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінювання стійкості та адаптаційної спроможності податкових систем в умовах зростаючої невизначеності, цифровізації економіки та загострення кризових явищ є важливим напрямом сучасних наукових досліджень. У вітчизняних і зарубіжних дослідженнях дедалі більшого поширення набувають підходи, засновані на використанні інструментарію нечіткої логіки та інтелектуального моделювання, що дозволяють враховувати багатокритеріальність, динамічність і високий рівень невизначеності соціально-економічних процесів. Актуальність таких підходів зумовлена обмеженістю традиційних економіко-математичних методів у ситуаціях, де між показниками існують нелінійні взаємозв'язки, статистичні дані є неповними або асиметричними, а параметри оцінювання характеризуються нечіткістю та варіативністю граничних значень [1; 2].

У зарубіжній науковій думці нечітко-множинні підходи до аналізу фіскальних процесів набули помітного розвитку. Зокрема, С. Guerrero Davalos, F. Gonzalez Santoyo та M. Jimenez Lopez [3] запропонували методологію визначення податкових штрафів на основі нечітких трикутних чисел із використанням нечіткого контролера Мамдані в середовищі MATLAB. Головним внеском цієї роботи є доведення того, що нечітка логіка може бути ефективним інструментом для поступового розрахунку податкових санкцій з дотриманням принципів пропорційності та справедливості, яких бракує чинному податковому законодавству Мексики.

Дослідники М. Amin та А. Ameer [4] запропонували підхід до оцінювання впливу реформ податкового законодавства на податковий потенціал із використанням методів нечіткої логіки. У межах емпіричного моделювання вони поєднали експертні оцінки з формалізованими правилами нечіткого виведення для відображення складних взаємозв'язків між регуляторними змінами та фіскальною результативністю. Отримані результати засвідчили, що ключовими детермінантами податкового потенціалу виступають якість податкового адміністрування, стабільність законодавчого середовища та рівень ефективності фіскального контролю, які в умовах невизначеності найкраще описуються саме апаратом нечіткої логіки.

Важливим напрямом є також використання нечіткої логіки для оцінювання макроекономічних індикаторів, що впливають на фіскальну стабільність. Зокрема, J. Vasheghani, F. Zandi, M. Afshari Rad та M. Khazri [5] запропонували метод оцінювання факторів, що визначають обсяги тіньової економіки, на основі апарату нечіткої логіки. Розроблена модель дозволяє враховувати якісні та кількісні характеристики економічних процесів в умовах неповної інформації, що є особливо актуальним для дослідження адаптаційної спроможності податкової системи в умовах кризових трансформацій, коли традиційні статистичні методи виявляються недостатньо ефективними.

В українській науковій літературі проблематика нечіткого моделювання податкових процесів також отримала певний розвиток. А. В. Грицків та В. В. Маслій [6] дослідили можливості застосування методів нечіткої логіки як інструменту прогнозування податкових надходжень. Вони обґрунтували, що класичні статистичні методи (ARIMA та інші екстраполяційні моделі) мають обмежену застосовність в умовах української економіки через неповноту початкової інформації, малі вибірки, відсутність даних про характер зв'язків між змінними та порушення нормального розподілу статистичних даних. Авторами запропоновано модифікований підхід до прогнозування податкових надходжень на основі нечітких часових рядів.

Пізніше С. Г. Маринчук [7] розробив універсальну модель нечіткого виведення для оцінювання ступеня відповідності механізму податкової оптимізації вимогам суб'єкта господарювання. У межах дослідження механізм податкової оптимізації охарактеризовано набором податкових параметрів (рівень податкового ризику, планований оподатковуваний дохід, рівень витрат на оптимізацію), які узагальнено у вигляді компонентного складу кортежу лінгвістичних змінних. На основі нечіткого логічного висновку обґрунтовано сценарій поведінкового вибору залежно від формату легальності діяльності суб'єкта господарювання.

Найбільш близькою до тематики даного дослідження є робота О. Десятнюк, Ф. Ткачика, С. Саченко, О. Черешнюк та В. Карпінця [8], у якій розроблено нечітко-множинну модель для інтегрального оцінювання ефективності податкового адміністрування в умовах цифровізації публічних фінансів. Автори обґрунтовують доцільність використання системи лінгвістичних змінних, функцій належності та бази правил для формалізації взаємозв'язку між фіскальними, технологічними та поведінковими параметрами ефективності. Доведено, що цифрові технології у поєднанні з інноваційними підходами до податкового комплаєнсу створюють інституційні передумови для стабільності бюджетних надходжень.

Незважаючи на значний науковий доробок та активний розвиток нечітко-множинних методів як у світовій, так і в українській науці, у літературі відсутня єдина, методологічно обґрунтована багаторівнева нечітка модель, яка б одночасно агрегувала чотири ключові субіндекси адаптаційної спроможності податкової системи (фіскальної результативності, гнучкості політики, структурної стійкості бази та інституційної спроможності) та дозволяла здійснювати сценарне прогнозування в умовах воєнних і післявоєнних трансформацій. Зокрема, робота [8] зосереджується на ефективності адміністрування в контексті цифровізації, але не розглядає вплив екстремальних шоків на структурну стійкість податкової бази та гнучкість політики в їхньому взаємозв'язку. Це зумовлює актуальність наших досліджень у напрямку вдосконалення інструментарію нечіткого логічного висновку Мамдані для оцінювання адаптивного потенціалу національних фіскальних систем у кризовий та післякризовий періоди.

Метою статті є розроблення концептуально-методичного підходу до інтегрального оцінювання адаптаційної спроможності податкової системи України на основі апарату нечіткої логіки в умовах воєнних і післявоєнних трансформацій.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження є: 1) офіційні статистичні дані щодо функціонування податкової системи України у 2018–2025 рр.; 2) наукові праці вітчизняних і зарубіжних авторів з проблематики нечіткого моделювання, фіскальної стійкості та адаптивності податкових систем; 3) аналітичні матеріали щодо макроекономічних і фіскальних трансформацій в умовах воєнної економіки. У процесі дослідження використано такі наукові методи: системного аналізу (при формуванні структури інтегрального індексу адаптаційної спроможності); аналізу та синтезу (при відборі показників і побудові субіндексів); методів теорії нечітких множин і нечіткого логічного висновку Мамдані (при побудові багаторівневої нечіткої моделі); сценарного аналізу (при прогнозуванні розвитку адаптаційної спроможності податкової системи); теоретичного узагальнення (при інтерпретації результатів моделювання).

Виклад основного матеріалу дослідження. Адаптаційна спроможність у даному дослідженні трактується як здатність податкової системи забезпечувати стабільність фіскальних надходжень, гнучко реагувати на макроекономічні шоки та підтримувати бюджетну рівновагу в умовах кризових трансформацій.

Оцінювання адаптаційної спроможності податкової системи в умовах кризових трансформацій характеризується високим рівнем невизначеності, нелінійністю взаємозв'язків та відсутністю чітких порогових значень між «стійким» і «нестійким» станом. Традиційні економетричні підходи, зокрема кореляційно-регресійний аналіз, дозволяють встановити кількісні залежності між окремими показниками, однак вони не повною мірою враховують нечіткість економічних процесів, багатокритеріальність оцінювання та розмитість меж між якісними характеристиками.

В умовах воєнної економіки та структурних шоків значення ключових індикаторів (частки податкових надходжень у ВВП, рівня безробіття, дефіциту бюджету тощо) не можуть однозначно інтерпретуватися як «добрі» або «критичні» без урахування контексту та сукупного впливу інших факторів. Саме тому для формування інтегрального індексу адаптаційної спроможності доцільним є використання апарату нечіткої логіки, який дозволяє моделювати складні соціально-економічні системи в умовах часткової невизначеності та неповної формалізованості.

У межах даного дослідження нечіткий підхід застосовується для агрегування чотирьох субіндексів: фінансової результативності (табл. 1). Кожен із них формується на основі трьох кількісних показників, що проходять процедуру нормалізації та фазифікації. Подальше застосування системи нечітких правил дозволяє визначити рівень інтегрального індексу адаптаційної спроможності як результат комплексної взаємодії економічних, соціальних і фінансових факторів.

Таблиця 1

Перелік показників, що характеризують субіндекси інтегрального індексу адаптаційної спроможності податкової системи

Субіндекс	Показники, що характеризують субіндекс
Фінансова результативність та стійкості (I1)	X1 — податкове навантаження (частка податкових надходжень у ВВП), %; X2 — коефіцієнт збирання податків (виконання плану), %; X3 — податкова автономія бюджету (частка податкових надходжень у доходах), %
Гнучкість та адаптивність податкової політики (I2)	X1 — частка непрямих податків у структурі доходів, %; X2 — інтегральний індекс турбулентності податкового законодавства, [0;1]; X3 — темп зростання податкового боргу (коэф.)
Структурна стійкість податкової бази (I3)	X1 — еластичність податкових надходжень відносно ВВП; X2 — індекс диверсифікації податкових надходжень; X3 — рівень зайнятості населення (15–70 років), %
Інституційна спроможність та соціальна база (I4)	X1 — навантаження на персонал податкових органів (платників на 1 працівника); X2 — рівень цифровізації (індекс EGDI), %; X3 — податкособожність населення (ПДФО + ЄСВ/ВВП), %

Джерело: складено авторами

Таким чином, використання багатовимірного нечіткого моделювання є методологічно обґрунтованим, оскільки воно відповідає природі досліджуваного явища — багатовимірного, динамічного та чутливого до кризових шоків. Запропонований підхід дозволяє перейти від фрагментарного аналізу окремих показників до системної оцінки адаптаційної спроможності податкової системи України в умовах нестабільності.

Використання даної системи субіндексів створює методологічне підґрунтя для побудови інтегрального показника адаптаційної спроможності, який відображає багатовимірний характер досліджуваного явища та забезпечує можливість його адекватного моделювання в умовах невизначеності.

Крім того, вибір саме цих субіндексів відповідає принципам:

1. Системності — врахування взаємозалежності доходів, економічної активності та бюджетних витрат.
2. Репрезентативності — використання офіційних статистичних показників.
3. Чутливості до кризових шоків — обрані змінні суттєво реагують на воєнні та економічні потрясіння.
4. Можливості формалізації — кожен показник має кількісне вираження та може бути використаний у нечіткій моделі.

Отже, для побудови інтегрального показника адаптаційної спроможності податкової системи України нами буде використано індексний метод в контексті з математичним апаратом теорії нечітких множин (нечітка логіка та нечіткий логічний висновок Мамдані) [9–11], який дозволяє використовувати різноманітні вхідні змінні, формалізувати нелінійні залежності, для опису зв'язку використовувати природну мову та отримувати гнучкі для налаштування та адаптації нечіткі моделі.

Варто зазначити, що процедура визначення вагових коефіцієнтів компонентів загального індексу достатньо трудомістка, оскільки повинна враховувати чималі напрацювання у даній сфері та охоплювати велику кількість суджень, навіть часто неспівставних. Але використання методів теорії нечітких множин дозволяє обійти ці складнощі у визначенні вагових коефіцієнтів.

У межах даного дослідження використовується багатовимірний нечіткий модель, що принципово відрізняється від класичних одновимірних або лінійно-агрегованих підходів до оцінювання соціально-економічних систем. Її багатовимірність зумовлена одночасним урахуванням сукупності різноманітних факторів, які формують адаптаційну спроможність податкової системи, а також складною структурою взаємозв'язків між ними.

Зокрема, модель побудована як ієрархічна система нечіткого логічного висновку, що охоплює декілька рівнів агрегування: на першому рівні здійснюється інтеграція первинних показників у відповідні субіндекси (I1–I4), тоді як на другому рівні відбувається узагальнення субіндексів у єдиний інтегральний показник адаптаційної спроможності (рис. 1).

Така структура передбачає наявність декількох вхідних змінних у кожному вузлі моделі та використання повної бази нечітких правил, що відображають різні комбінації їх взаємодії.

Багатовимірний характер моделі проявляється також у поєднанні показників різної економічної природи: фінансових (податкове навантаження, збирання податків), макроекономічних (еластичність, зайнятість),

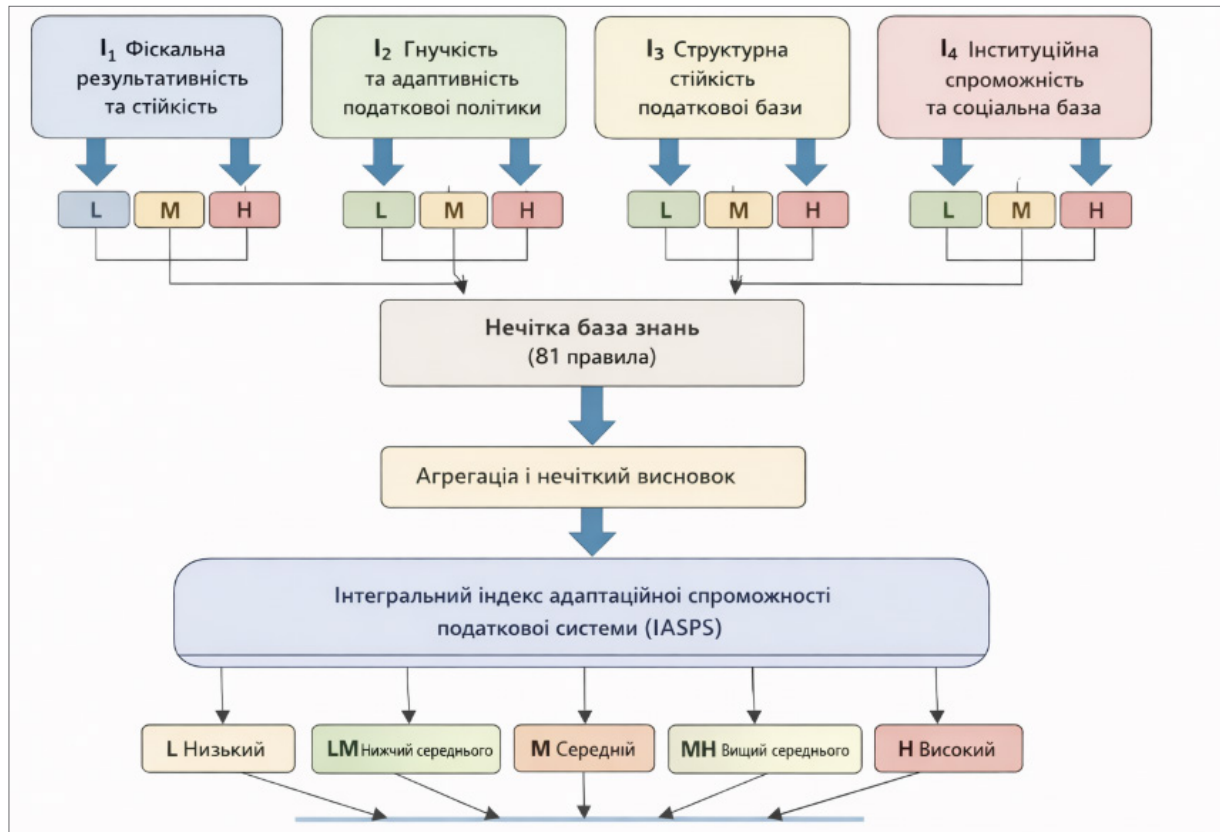


Рис. 1. Структурно-функціональна модель нечіткого виведення інтегрального індексу адаптаційної спроможності податкової системи

Джерело: побудовано авторами

структурних (диверсифікація податкових надходжень) та інституційних (цифровізація, ефективність адміністрування). Це дозволяє врахувати як прямі, так і опосередковані впливи на функціонування податкової системи.

Таким чином, застосування багатовимірної нечіткої моделі в рамках даного дослідження є методологічно обґрунтованим, оскільки вона дозволяє адекватно відобразити складну, багатофакторну та динамічну природу адаптаційної спроможності податкової системи, мінімізуючи обмеження традиційних кількісних підходів.

Кожна вхідна та вихідна змінна задається у вигляді лінгвістичної змінної з базовою трирівневою шкалою термів: L (низький рівень), M (середній рівень), H (високий рівень).

На другому рівні моделювання інтегральний показник адаптаційної спроможності податкової системи визначається як вихідна змінна узагальнюючої нечіткої моделі, де субіндекси I_1 – I_4 виступають у ролі вхідних лінгвістичних змінних (рис. 2).

Для вхідних змінних I_1 – I_4 на цьому рівні зберігається трирівнева шкала: L (низький), M (середній), H (високий), що забезпечує узгодженість із попереднім етапом моделювання.

При цьому, вихідна змінна — інтегральний індекс адаптаційної спроможності — задається розширеною п'ятирівневою шкалою, яка включає такі терми: L (низький), ML (нижче середнього), M (середній), MH (вище середнього), H (високий).

Таким чином, інтегральний показник формується як результат агрегування субіндексів із використанням нечіткої бази знань, яка враховує ієрархію впливу факторів, зокрема визначальну роль фіскальної результативності та гнучкості податкової політики, стабілізуючу функцію структурної стійкості та підсилюючий ефект інституційної спроможності.

Процедуру знаходження субіндексів та інтегрального показника здійснено для податкової системи України протягом 2018–2025 р.

Кожному з термів лінгвістичних змінних відповідає нечітка множина, яка задається відповідною функцією належності $\mu(x)$. Конкретний вигляд функцій належності визначається на основі різних додаткових припущень про властивості цих функцій з урахуванням специфіки наявної невизначеності та реальної ситуації, експертних даних тощо.

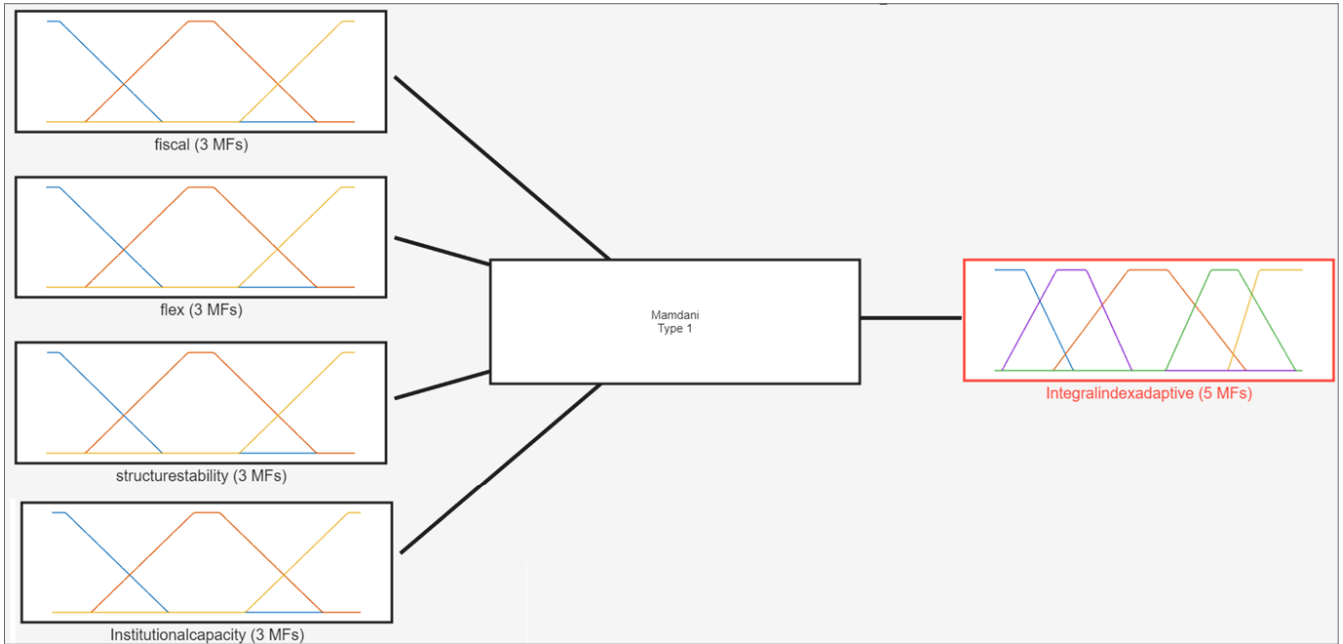


Рис. 2. Схема нечіткого логічного висновку Мамдані для загального інтегрального показника
Джерело: побудовано авторами

Для нашої нечіткої моделі визначення інтегрального показника було використано трикутні та трапецієподібні функції належності. Формалізовані представлення вхідних та вихідної змінних отримано засобами fuzzy logic toolbox СКМ Matlab [12] (рис. 3).

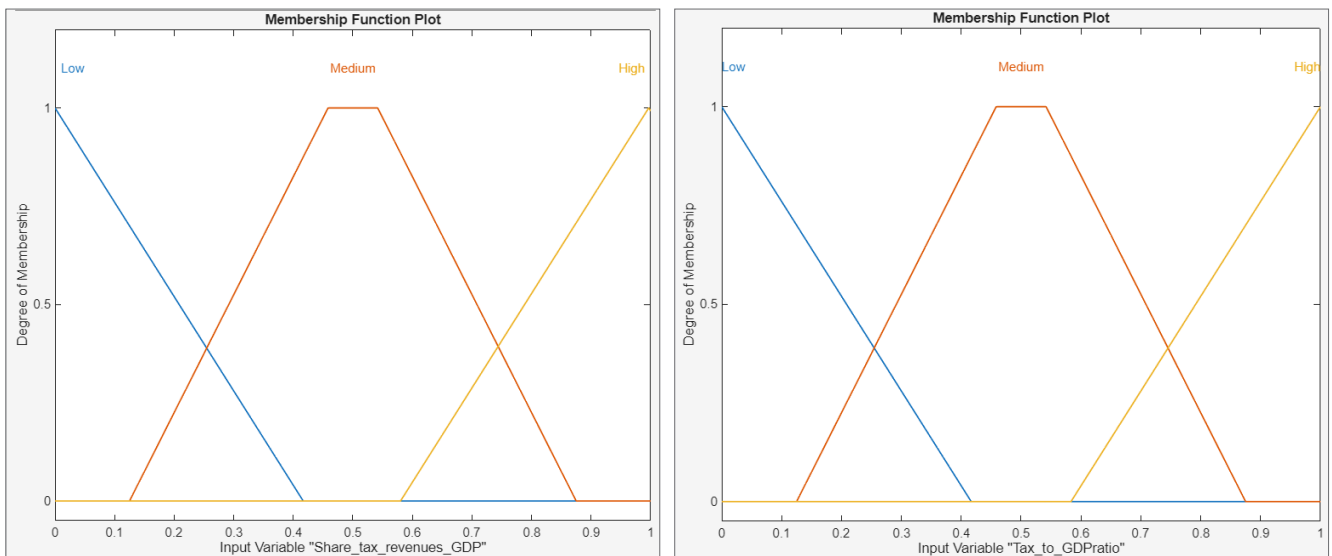


Рис. 3. Терми лінгвістичних змінних X_1 та X_2 субіндексу I_1
Джерело: побудовано авторами

Далі була проведена структурна ідентифікація моделі за допомогою формування нечіткої бази продукційних правил «якщо-то», які відображають зв'язок «входи-вихід». На рис. 4 наведено фрагмент побудованої нечіткої бази знань для визначення загального інтегрального показника.

Нечіткий логічний висновок реалізують, переходячи від логічних висловлювань до нечітких логічних рівнянь. Такі рівняння отримують з бази знань шляхом заміни лінгвістичних термів на функції належності, а операцій «і» та «або» — на операції знаходження мінімуму (\wedge) та максимуму (\vee) відповідно.

Результуючу нечітку множину \tilde{I} отримаємо як об'єднання всіх урізаних нечітких підмножин по кожному нечіткому правилу.

System: Integra_index_adaptive		
Add All Possible Rules Clear All Rules		
Rule	Weight	Name
63	1	rule63
64	1	rule64
65	1	rule65
66	1	rule66
67	1	rule67
68	1	rule68
69	1	rule69
70	1	rule70
71	1	rule71
72	1	rule72
73	1	rule73
74	1	rule74
75	1	rule75
76	1	rule76
77	1	rule77
78	1	rule78
79	1	rule79
80	1	rule80
81	1	rule81

Рис. 4. Фрагмент нечіткої бази знань для інтегрального показника
 Джерело: побудовано авторами

Далі необхідно нечіткий результат дефазифікувати методом центра тяжіння, після чого отримаємо чітке значення інтегрального показника.

Таким чином, на основі методики проведення нечіткого логічного висновку можна отримувати значення інтегрального показника адаптаційної спроможності податкової системи України в динаміці.

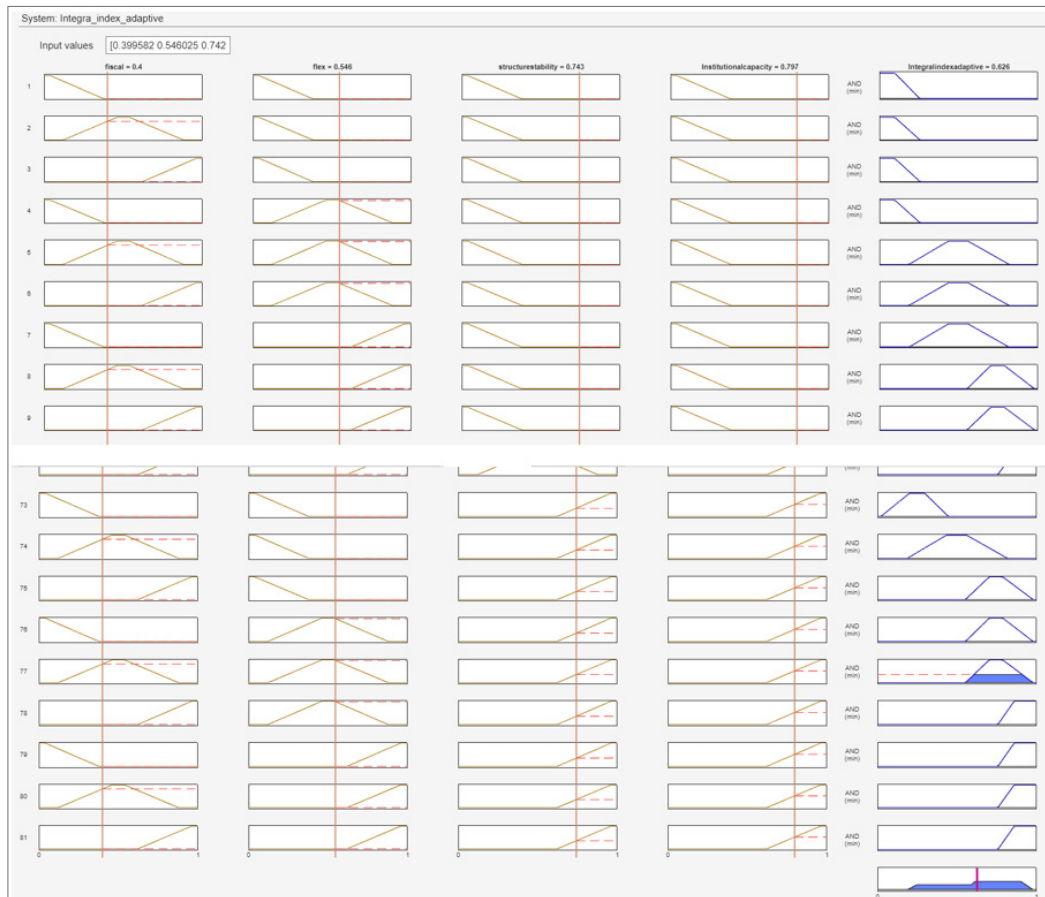


Рис. 5. Візуалізація нечіткого виведення для інтегрального показника
 Джерело: побудовано авторами

Наочне представлення процедури нечіткого виведення та дефазифікації інтегрального показника методом «центра тяжіння наведено на рис. 5.

На рис. 6 представлено візуалізацію залежності інтегрального показника від окремих субіндексів. Побудовані поверхні відображають нелінійні взаємозв'язки між вхідними змінними (субіндексами І1–І4) та вихідною змінною. Аналіз поверхонь дозволяє кількісно оцінити чутливість системи до зміни кожного з субіндексів та виявити зони компенсації.

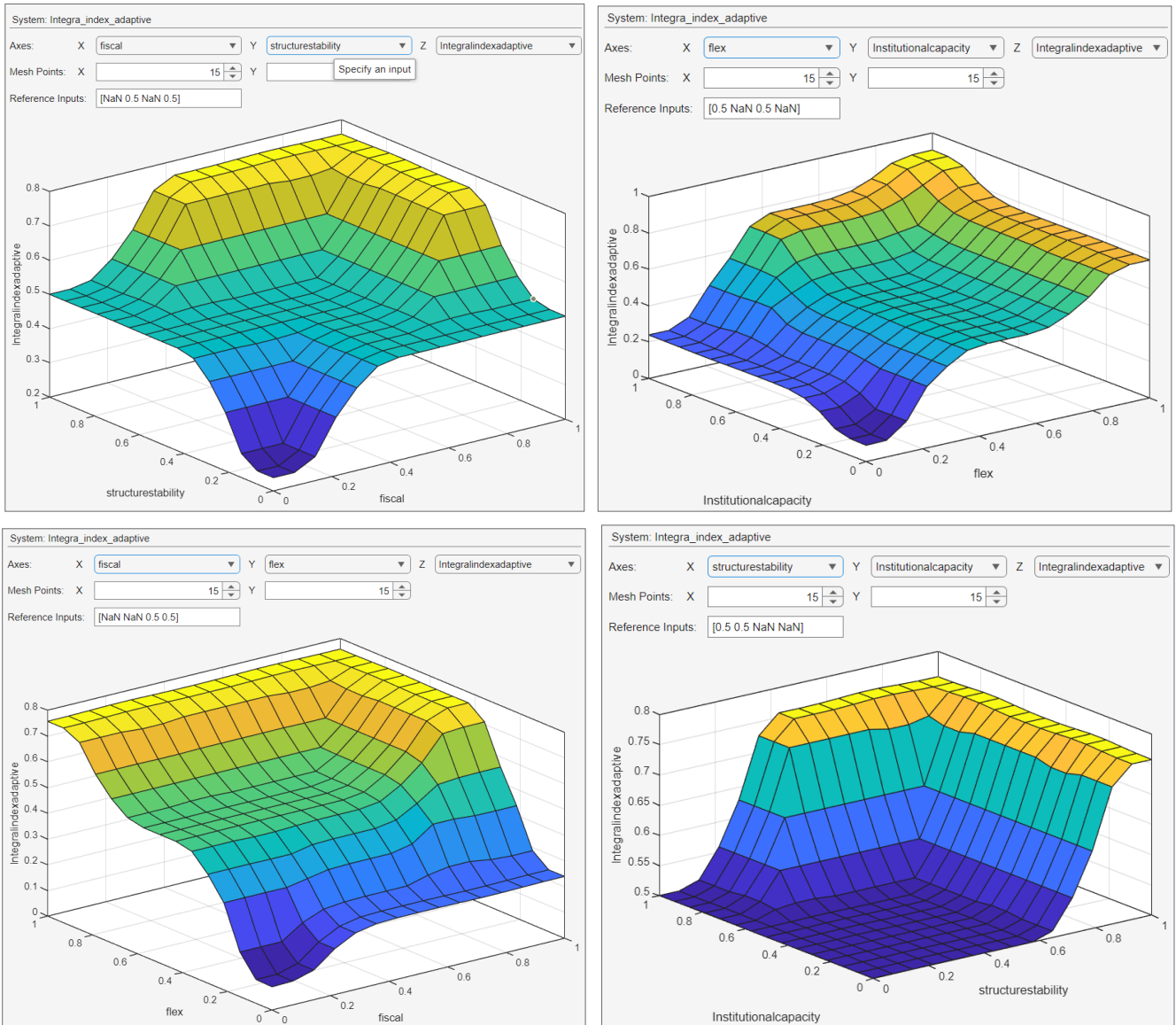


Рис. 6. Поверхні значень залежності виходу нечіткої системи від вхідних змінних
Джерело: побудовано авторами

На основі статистичних даних по вхідних змінних нами були розраховані інтегральні субіндекси за 2018–2025 рр. та загальний інтегральний показник (табл. 2).

Для забезпечення змістовної інтерпретації отриманих значень інтегрального показника адаптивної спроможності податкової системи та їх практичного використання в аналітичних цілях використано п'ятирівневу шкалу інтерпретації (табл. 3). Вибір саме п'ятирівневої градації зумовлений наступними методологічними міркуваннями.

По-перше, трирівнева шкала («низький — середній — високий»), яка традиційно використовується в більшості інтегральних індексів, не дозволяє відобразити перехідні стани системи, що є критично важливим для аналізу динаміки в умовах кризи та посткризового відновлення. По-друге, запропонована п'ятирівнева шкала є стандартом у нечіткому моделюванні для вихідних змінних, оскільки забезпечує симетричність лінгвістичної шкали відносно середнього значення (0,50) та дозволяє коректно відображати нечіткі межі між рівнями.

Таблиця 2

Динаміка субіндексів та інтегрального показника за 2018–2025 рр.

Рік	I1	I2	I3	I4	Інтегральний показник адаптаційної спроможності податкової системи	Рівень адаптивності
2018	0,68	0,58	0,62	0,52	0,61	середній
2019	0,67	0,54	0,64	0,61	0,62	середній
2020	0,62	0,39	0,27	0,51	0,44	нижче середнього
2021	0,80	0,61	0,66	0,82	0,73	вище середнього
2022	0,14	0,12	0,01	0,19	0,12	низький
2023	0,28	0,29	0,29	0,41	0,32	нижче середнього
2024	0,40	0,49	0,52	0,58	0,50	середній
2025	0,51	0,73	0,53	0,67	0,61	середній

Джерело: розраховано авторами

Таблиця 3

Шкала інтерпретації рівнів адаптивності інтегрального показника

Діапазон інтегрального показника	Рівень адаптивності	Позначення	Характеристика
0,00–0,25	Низький	L	Система не здатна адаптуватися — критична криза
0,26–0,45	Нижче середнього	ML	Обмежена адаптивність — значні вразливості
0,46–0,65	Середній	M	Часткова адаптивність — є резерви
0,66–0,85	Вище середнього	MH	Висока адаптивність — ефективне реагування
0,86–1,00	Високий	H	Максимальна адаптивність

Джерело: сформовано авторами

На нашу думку, аналіз динаміки субіндексів та інтегрального показника адаптаційної спроможності податкової системи України за 2018–2025 рр. доцільно здійснювати з урахуванням ефекту часових лагів, що дозволяє більш коректно інтерпретувати результати 2022–2023 рр. та усунути потенційне методологічне протиріччя між масштабом реформ і низькими значеннями індексу у короткостроковому періоді. У докризовий період 2018–2019 рр. інтегральний показник перебуває на стабільному рівні 0,61–0,62, що відповідає середньому рівню адаптаційної спроможності.

Такий стан відображає відносно збалансовану конфігурацію субіндексів: фіскальна результативність (I1) та структурна стійкість податкової бази (I3) формують достатній рівень податкового потенціалу, тоді як інституційна спроможність (I4) демонструє поступове покращення. Водночас незначне зниження I2 (гнучкості податкової політики) сигналізує про накопичення регуляторних дисбалансів, які проявляються більш виразно у кризовий період. У 2020 році інтегральний показник знижується до 0,44, що відповідає рівню нижче середнього. Це є наслідком пандемічного шоку від Covid-19, який призвів до погіршення передусім структурної стійкості податкової бази (I3 = 0,27) та гнучкості податкової політики (I2 = 0,39).

Важливо, що навіть за відносно стабільних значень I1 та I4 система демонструє зниження загальної адаптивності, що підтверджує наявність нелінійної взаємодії показників та домінування «вузьких місць» у формуванні інтегрального результату. У 2021 році спостерігається відновлювальне зростання інтегрального показника до 0,73 (вище середнього рівня), що зумовлено синхронним покращенням усіх субіндексів. Особливо значущим є зростання I1 (0,80) та I4 (0,82), що свідчить про ефективну фіскальну мобілізацію та посилення інституційної спроможності. При цьому відновлення I3 (0,66) забезпечує розширення податкової бази, формуючи мультиплікативний ефект у системі.

Ключовим переломним моментом є 2022 рік, коли інтегральний показник різко знижується до 0,12. Вважаємо, що таке падіння доцільно розглядати не лише як наслідок воєнного шоку, а і як прояв лагового ефекту між адаптаційними заходами та їх результативністю.

У 2022 році система одночасно зазнає миттєвого негативного впливу екзогенного шоку (різке скорочення ВВП, руйнування виробничої бази, звуження податкової бази) та впроваджує податкові реформи антикризового характеру. Однак, через інституційні, поведінкові та фіскальні лаги, ефект цих реформ не повністю відображається у статистичних показниках поточного періоду. Як наслідок, усі субіндекси (I1–I4) набувають низьких значень, причому I3 фактично близький до нуля, що свідчить про критичне звуження податкової бази.

У 2023 році спостерігається часткове відновлення інтегрального показника до 0,32, що вже відображає початкову реалізацію ефектів попередньо впроваджених реформ. Це підтверджує наявність лагу: система переходить від фази «шоку» до фази «адаптації». Відновлення має нерівномірний характер: інституційна спроможність ($I_4 = 0,41$) зростає швидше за інші компоненти, що може свідчити про деяку ефективність заходів з цифровізації та адміністрування.

Зауважимо, що I_1 – I_3 залишаються на низькому рівні через інерційність відновлення економічної активності та податкової бази. У 2024 році інтегральний показник досягає 0,50 (середній рівень), що свідчить про перехід до фази стабілізації. Відновлення стає більш збалансованим: зростають усі субіндекси, зокрема I_3 (0,52), що відображає поступову реконструкцію податкової бази.

У 2025 році інтегральний показник досягає 0,61, повертаючись до рівня докризового періоду. При цьому структура зростання змінюється: найбільш динамічно зростає I_2 (0,73), що свідчить про суттєве підвищення гнучкості податкової політики та зниження регуляторної турбулентності. Інституційна спроможність ($I_4 = 0,67$) також демонструє стійке покращення. Але I_1 та I_3 залишаються на середньому рівні, що вказує на незавершеність процесів повного відновлення фіскальної бази. Узагальнюючи результати, доцільно виділити чотири фази розвитку системи:

- 1) докризова стабільність (2018–2019);
- 2) пандемічний шок (2020);
- 3) воєнний шок із лаговою адаптацією (2022–2023);
- 4) відновлення та стабілізація (2024–2025).

Включення лагового ефекту в інтерпретацію результатів дозволяє зробити принципово важливий висновок: низькі значення інтегрального показника у 2022 році не свідчать про неефективність податкових реформ, а відображають часову асинхронність між впливом шоку та реалізацією адаптаційних механізмів. Таким чином, запропонована нечітка модель не лише адекватно відображає стан системи, але й дозволяє ідентифікувати динамічні особливості її розвитку, зокрема інерційність реакції та відкладений ефект політичних рішень, що є критично важливим для оцінювання адаптаційної спроможності в умовах високої невизначеності.

Далі вважаємо за доцільне здійснити прогнозування інтегрального показника адаптаційної спроможності податкової системи на основі сценарного підходу з використанням нечіткого логічного висновку Мамдані з урахуванням виявлених трендів попереднього періоду. Аналіз динаміки за 2018–2025 рр. дозволяє зафіксувати спад показника у кризовий період 2020–2022 рр. та подальше поступове відновлення у 2023–2025 рр., що формує базу для екстраполяції тенденцій.

Для кожного сценарію (базового, оптимістичного та песимістичного) задаються різні траєкторії зміни показників залежно від очікуваних макроекономічних умов, інтенсивності реформ та безпекових факторів. Отримані значення нормалізуються та інтерпретуються через лінгвістичні змінні («низький», «середній», «високий»), після чого на основі нечіткої бази правил визначаються значення субіндексів (I_1 – I_4).

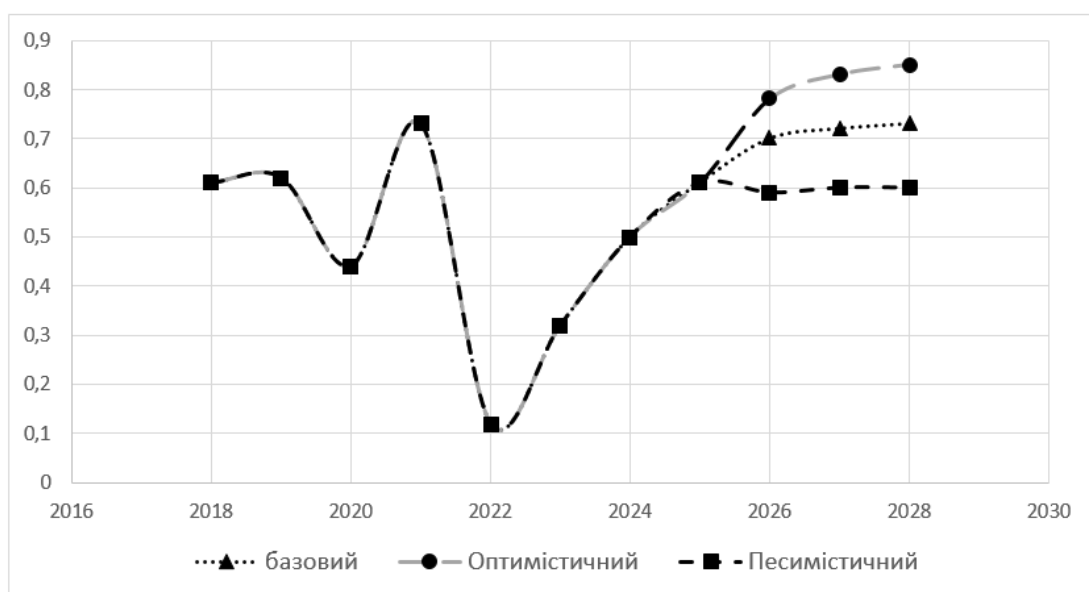


Рис. 7. Сценарне прогнозування інтегрального показника на 2026–2028 рр.

Джерело: побудовано авторами

На завершальному етапі субіндекси агрегуються у інтегральний показник за допомогою нечіткого висновку, що дозволяє врахувати їх нелінійну взаємодію. Такий підхід забезпечує узгоджене поєднання трендового аналізу та сценарного моделювання і дозволяє отримати обґрунтовані прогнози оцінки в умовах невизначеності.

Прогнозу динаміку інтегрального показника адаптаційної спроможності податкової системи на основі сценарного моделювання наведено на рис. 7.

Базовий сценарій передбачає поступове відновлення економіки України за умови збереження поточної безпекової ситуації (активна фаза воєнних дій триває, але з поступовим зміщенням акценту на відновлення) та реалізації запланованих реформ (цифровізація, адаптація податкового законодавства до вимог ЄС, тощо).

За базового сценарію показник досягає рівня МН (вище середнього) у 2027р., однак докризовий максимум 2021 року (0,73) досягається лише у 2028 р. (0,72). Відновлення є повільним, але стабільним.

Оптимістичний сценарій передбачає прискорення економічного відновлення за умови деескалації безпекової ситуації, значного збільшення міжнародної допомоги на відновлення, успішної реалізації структурних реформ та прискореної євроінтеграції.

За оптимістичного сценарію інтегральний показник досягає рівня Н (високий) у 2028 р. (0,85), що є досить позитивним результатом. Це потребуватиме значних інвестицій у реформи та стабілізації безпекової ситуації.

Песимістичний сценарій передбачає погіршення безпекової ситуації, нові енергетичні шоки, затримку міжнародної допомоги, зростання фіскального навантаження на бізнес та поглиблення структурних деформацій.

За песимістичного сценарію показник залишається в категорії МЛ (нижче середнього) протягом усього прогнозного періоду, не досягаючи докризового рівня. Це вказує на збереження структурних дисбалансів та недостатній рівень адаптаційної спроможності системи. Таким чином, інтегральний показник виступає не лише інструментом діагностики, а й аналітичною платформою стратегічного управління податковою системою в умовах тривалих макроекономічних шоків та воєнної нестабільності.

Варто зазначити, що запропонована нечітка модель Мамдані є методологічно гнучкою та адаптивною до зміни інформаційного базису. За умови отримання доступу до прямих статистичних даних, модель дозволяє без суттєвої зміни своєї архітектури інтегрувати ці показники шляхом коригування функцій належності (зміна параметрів трапецієвидних/трикутних функцій) та модифікації відповідних правил у базі знань. Це дозволило б зменшити похибку вимірювання, підвищити конструктивну валідність та дискримінаційну здатність моделі.

Крім того, нечітка модель є композиційною та масштабованою, що вирізняє її серед інших методів агрегації (зважена сума, РСА, факторний аналіз). При додаванні нових часових точок (наприклад, даних за 2026–2027 рр.) модель не потребує перерахунку коефіцієнтів — достатньо подати нові значення субіндексів на вхід системи та виконати відповідні розрахунки. При розширенні системи новими показниками (наприклад, екологічним субіндексом) база правил генерується автоматично за тим же принципом, а при звуженні — відповідно скорочується. Така гнучкість робить модель придатною для використання в режимі реального часу та швидкої адаптації до змін у статистичному забезпеченні без втрати валідності результатів.

Таким чином, навіть за умови появи нових, точніших або альтернативних даних, розроблена нечітка модель зберігає свою методологічну цінність та може бути ефективно переналаштована (коригування менше 15–20% структури), що є її ключовою перевагою порівняно з жорсткими параметричними підходами, які потребують повної перебудови при зміні складу показників або інформаційного базису.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Розроблено дворівневу нечітку модель Мамдані, яка інтегрує первинні показники у субіндекси, а субіндекси — в єдиний інтегральний показник. Виділено чотири ключові компоненти: фіскальну результативність, гнучкість податкової політики, структурну стійкість податкової бази та інституційну спроможність. Їх поєднання забезпечує комплексну оцінку функціонування податкової системи з урахуванням як внутрішніх, так і зовнішніх факторів.

Доведено, що нечітка модель дозволяє відобразити нелінійні взаємозв'язки та компенсаційні ефекти між показниками, а також ідентифікувати критичні «вузькі місця», які визначають загальний рівень адаптивності. Аналіз динаміки за 2018–2025 рр. виявив чотири фази розвитку системи: стабільність, кризові шоки та подальше відновлення. Показано, що різке зниження індексу у 2022 році зумовлене не лише воєнним шоком, а й лаговими ефектами між реформами та їх результатами.

Встановлено, що відновлення у 2023–2025 рр. має поступовий характер і супроводжується зростанням ролі інституційної спроможності та гнучкості податкової політики. Запропонована п'ятирівнева шкала інтерпретації забезпечує більш точну оцінку перехідних станів системи.

Сценарне прогнозування засвідчило, що подальша динаміка інтегрального показника залежить від безпекових умов, темпів економічного відновлення та ефективності реформ. За базового сценарію очікується

поступове зростання, за оптимістичного — досягнення високого рівня адаптивності, тоді як за песимістичного зберігаються ризики структурної нестійкості.

Запропонована модель характеризується гнучкістю та масштабованістю, що забезпечує її практичну цінність в умовах динамічних економічних змін.

Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що податкова система України демонструє наявність адаптаційного потенціалу, проте її подальший розвиток потребує переходу до відновлювально-стимулюючої моделі. Така трансформація має базуватися на поєднанні фіскальної ефективності з інструментами стимулювання економічної активності, удосконаленні адміністрування, розширенні податкової бази та підвищенні інституційної довіри.

Таким чином, отримані результати формують цілісне уявлення про закономірності трансформації податкової системи України, підтверджують доцільність використання нечітких методів аналізу й створюють наукове підґрунтя для розроблення стратегічних напрямів її модернізації у післявоєнний період.

Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язати з розширенням структури інтегральної моделі шляхом включення показників податкового комплаєнсу, рівня гінізації економіки, екологічних та поведінкових факторів, а також із використанням адаптивних нейро-нечітких систем і методів машинного навчання для автоматизованого налаштування функцій належності та бази нечітких правил. Окремого наукового інтересу набуває порівняльне моделювання адаптаційної спроможності податкових систем країн, що функціонують в умовах воєнних, енергетичних та фінансових криз, що дозволить сформувати універсальні підходи до оцінювання фіскальної стійкості в умовах глобальної нестабільності.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ

ВНЕСОК АВТОРІВ: Усі автори зробили внесок порівню.

ФІНАНСУВАННЯ: Автори не отримували фінансування для цього дослідження.

ЗАЯВА ПРО ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ: Не застосовується.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Література

1. Zimmermann H.-J. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. 4th ed. Boston: Springer, 2001. 514 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0646-0>
2. Zadeh L. A. Fuzzy Sets. *Information and Control*. 1965. Vol. 8, № 3. P. 338–353. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
3. Guerrero Davalos C., Gonzalez Santoyo F., Jimenez Lopez M.L. Determination of fiscal fines according to the principles of proportionality and equity using fuzzy logic. *Contaduría y Administración*. 2021. Vol. 66, No. 3. 00002. DOI: [10.22201/fca.24488410e.2021.2216](https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2021.2216)
4. Amin, M. and Ameer Evaluation of the impact of the tax legislation reforms on the tax potential by fuzzy inference method. *Procedia Computer Science*, 2016. Vol. 102. P. 507–514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.435>
5. Vasheghani J., Zandi F., Afshari Rad M., Khazri M. Estimating the influencing factors on the volume of the underground economy using fuzzy logic. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*. 2024. Vol. 15, No. 9. P. 369–380. DOI: [10.22075/ijnaa.2023.30186.4396](https://doi.org/10.22075/ijnaa.2023.30186.4396)
6. Grytskiv A. V., Masliy V. V. Methods of fuzzy logic as an instrument for forecasting of tax revenues. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Ekonometria*. 2011. № 196. P. 9–19.
7. Маринчук С. Г. Моделювання механізму податкової оптимізації на засадах нечіткої логіки. *Ефективна економіка*. 2015. № 3. URL: <http://www.m.nayka.com.ua/?j=efektyvna-ekonomika&op=1&z=3873> (дата звернення: 05.03.2026).
8. Desyatnyuk O., Tkachyk F., Sachenko S., Cheresnyuk O., Karpinets V. Modeling tax administration efficiency in the context of digitalization of public finances. *Journal of European Economy*. 2026. Vol. 25, No. 1. P. 136–154. DOI: [10.35774/jee2026.01.136](https://doi.org/10.35774/jee2026.01.136)
9. Mamdani E. H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1975. Vol. 7, No. 1. P. 1–13. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020737375800022> (дата звернення: 10.03.2026).
10. Buckley J. J., Eslami E. *An Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy Sets*. Heidelberg: Physica-Verlag, 2002. 285 p. URL: <https://d-nb.info/963140922/04> (дата звернення: 09.03.2026).
11. Klir G. J., Yuan B. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 592 p. URL: <http://www.pzs.dstu.dp.ua/logic/bibl/yuan.pdf> (дата звернення: 08.03.2026).
12. MathWorks — Fuzzy Logic Toolbox. Natick: MathWorks Inc., 2026. URL: <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html> (дата звернення: 07.03.2026).

References

1. Zimmermann, H.-J. (2001). *Fuzzy set theory and its applications* (4th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0646-0>
2. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
3. Guerrero Davalos, C., Gonzalez Santoyo, F., & Jimenez Lopez, M. L. (2021). Determination of fiscal fines according to the principles of proportionality and equity using fuzzy logic. *Contaduría y Administración*, 66(3). <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2021.2216>
4. Amin, M., & Ameer, A. (2016). Evaluation of the impact of the tax legislation reforms on the tax potential by fuzzy inference method. *Procedia Computer Science*, 102, 507–514. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.435>
5. Vasheghani, J., Zandi, F., Afshari Rad, M., & Khazri, M. (2024). Estimating the influencing factors on the volume of the underground economy using fuzzy logic. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, 15(9), 369–380. <https://doi.org/10.22075/ijnaa.2023.30186.4396>
6. Grytskiv, A. V., & Masliy, V. V. (2011). Methods of fuzzy logic as an instrument for forecasting of tax revenues. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Ekonometria*, (196), 9–19.
7. Marynychuk, S. H. (2015). Modeliuvannia mekhanizmu podatkovoi optymizatsii na zasadakh nechitkoi lohiky [Modeling the mechanism of tax optimization based on fuzzy logic principles]. *Efektyvna ekonomika*, (3). Retrieved from <http://www.m.nayka.com.ua/?j=efektyvna-ekonomika&op=1&z=3873> [in Ukrainian].
8. Desyatnyuk, O., Tkachyk, F., Sachenko, S., Chereshtnyuk, O., & Karpinets, V. (2026). Modeling tax administration efficiency in the context of digitalization of public finances. *Journal of European Economy*, 25(1), 136–154. <https://doi.org/10.35774/jee2026.01.136>
9. Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1–13. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020737375800022>
10. Buckley, J. J., & Eslami, E. (2002). *An introduction to fuzzy logic and fuzzy sets*. Physica-Verlag. Retrieved from <https://d-nb.info/963140922/04>
11. Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications*. Prentice Hall. Retrieved from <http://www.pzs.dstu.dp.ua/logic/bibl/yuan.pdf>
12. MathWorks. (2026). *Fuzzy Logic Toolbox*. MathWorks Inc. Retrieved from <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html>

Дата першого надходження статті до видання: 17.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.04.2026

Дата публікації: 21.04.2026

Denysenko Viktor

Candidate of Sciences in Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic and Business Modelling, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

Pokovba Dmytro

PhD Student in Economics, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy

INTEGRAL ASSESSMENT OF THE ADAPTIVE CAPACITY OF THE TAX SYSTEM OF UKRAINE BASED ON FUZZY LOGIC IN THE WARTIME AND POSTWAR PERIODS

Summary. Introduction. The full-scale war, the structural contraction of economic activity, the growing budget deficit, and the increasing financing needs of the security sector have significantly complicated the maintenance of the state's fiscal sustainability. Under such conditions, the tax system must not only ensure the stability of budget revenues but also demonstrate the capacity for rapid response to crisis shocks, support economic activity, and facilitate post-war economic recovery. Traditional econometric approaches are unable to fully account for the nonlinear nature of interrelationships, multicriteria characteristics, and the high degree of uncertainty inherent in contemporary crisis processes. In this context, the application of fuzzy logic methods becomes particularly relevant, as they enable the formalization of complex socio-economic systems under conditions of incomplete certainty.

Purpose. The purpose of the study is to develop a conceptual and methodological approach to the integral assessment of the adaptive capacity of the tax system of Ukraine based on a multi-level Mamdani fuzzy model under conditions of wartime and post-war transformations.

Materials and Methods. The research materials include: (1) official statistical data on the functioning of the tax system of Ukraine during 2018–2025; (2) scientific works of domestic and foreign scholars addressing fuzzy modeling, fiscal sustainability, and the adaptability of tax systems; and (3) analytical materials concerning macroeconomic and fiscal transformations within a wartime economy. The following scientific methods were employed in the study: systems analysis (for constructing the structure of the integral index of adaptive capacity); analysis and synthesis (for selecting indicators and developing sub-indices); methods of fuzzy set theory and Mamdani fuzzy inference (for developing the multi-level fuzzy model); scenario analysis (for forecasting the development of the adaptive capacity of the tax system); and theoretical generalization (for interpreting the modeling results).

Results. The article proposes a scientifically grounded approach to the integral assessment of the adaptive capacity of the tax system of Ukraine under wartime and post-war transformations. Adaptive capacity is interpreted as the ability of the system to ensure the stability of fiscal revenues, flexibly respond to macroeconomic shocks, and maintain budget equilibrium. A multi-level fuzzy model based on the Mamdani algorithm was developed, aggregating four sub-indices: fiscal performance, flexibility of tax policy, structural resilience of the tax base, and institutional capacity. The advantages of applying fuzzy logic for modeling nonlinear interrelationships and uncertainty were substantiated. The dynamics of the integral indicator for 2018–2025 were obtained, and scenario forecasting was conducted, enabling the model to be used as an instrument for the strategic analysis of fiscal policy.

Discussion. Further research should focus on improving the structure of the integral model through the inclusion of indicators reflecting

tax compliance, the level of the shadow economy, environmental and behavioral factors, as well as the application of adaptive neuro-fuzzy systems and machine learning methods for the automated optimization of membership functions and the fuzzy rule base.

Key words: *adaptive capacity, tax system, integral assessment, fuzzy modeling, fuzzy Mamdani model, fiscal policy, scenario forecasting.*