

УДК 519.86

DOI [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2022.41\(2\).128-140](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2022.41(2).128-140)**В. В. Поліщук<sup>1</sup>, М. Ю. Петранова<sup>2</sup>, В. І. Повханич<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,  
професор кафедри програмного забезпечення систем,  
доктор технічних наук

volodymyr.polishchuk@uzhnu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4586-1333>

<sup>2</sup> Донецький національний університет імені Василя Стуса,  
молодший науковий співробітник НДЧ,  
кандидат фізико-математичних наук

m.petranova@donnu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6359-1993>

<sup>3</sup> ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,  
аспірант,

povkhanich.volodymyr@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0397-8015>

## КОМПЛЕКСНА ГІБРИДНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДОЦІЛЬНОСТІ ФІНАНСУВАННЯ ПРОЕКТІВ

Гібридна математична комплексна модель спроможна адекватно визначити рівень доцільності фінансування проекту, враховуючі цільові потреби інвесторів та висновки експертів, щодо можливості досягнення цілей для підвищення стійкості регіонів, шляхом реалізацією даного проекту. Комплексна модель є складною системою функціонування, яка враховує різні фактори впливу, такі як: важливості ідеї проекту щодо підвищення стійкості регіонів; ризик-орієнтовані фактори впливу, що потенційно призведуть на успішність реалізації проекту; фактори людського впливу та команди реалізаторів проекту. Також враховує цілі інвестора щодо потреби та доцільності фінансування проектів. Модель базується на основі сучасної теорії інтелектуального аналізу знань, теорії нечітких множин, нейро-нечітких мереж та системному підході. На виході моделі маємо вихідну кількісну оцінку та лінгвістичне значення рівня прийняття рішень доцільності фінансування проекту з оцінкою достовірності.

Крім цього, вперше запропоновано модель агрегування вихідних даних для виведення рівня прийняття рішень доцільності фінансування проекту, що обумовлює: вихідну оцінку, лінгвістичне значення рівня прийняття рішень доцільності фінансування проекту та його оцінку достовірності. Модель легко адаптується для різних по величині грантових проектів та конкурсів.

Сформульована гіпотеза у науковому дослідженні підтверджується достовірністю отриманих результатів. Проведене дослідження буде корисним інструментом для проектних аналітиків в рамках запобігання неефективного фінансування проектів та підтримання стійкості розвитку регіонів.

**Ключові слова:** гібридна модель, нейро-мережа, нечіткі множини, доцільність фінансування проектів, стійкість регіонів, прийняття рішень.

**1. Вступ.** Представлене дослідження спрямоване на підтримку прийняття рішень щодо доцільності фінансування проектів структурними фондами для стійкого розвитку регіонів. Політика структурних фондів передбачає зменшення розриву в розвитку між різними регіонами та країнами Європейського Союзу (ЄС), а також досягнення економічної та соціальної згуртованості. За рахунок структурних фондів ЄС є можливість для села, міста, регіону чи держави отримати кошти на модернізацію, розвиток та всіх процесів, що з цим пов'язано.

Поряд з тим, фінансування таких проектів для їх реалізації — це ризикова діяльність. Для мінімізації ризиків необхідно мати адекватні системи підтримки прийняття рішень оцінювання проектних заявок та всього процесу, що з цим пов'язаний.

Робота авторів щодо дослідження проблеми, використовуючи багатосторонній міждисциплінарний підхід, полягає в спробі створити комплексну гібридну математичну модель на основі нечіткої математики та нейро-мереж для підтримки процесів прийняття рішень оціночними комісіями на рівні держави та місцевого самоврядування, а також рішень для реалізації політики сталого розвитку, покращення управління містами та регіонами в контексті майбутньої реалізації Європейської зеленої угоди та концепції Європейської промисловості 5.0 у державах-членах. Вирішення проблеми також сприяє підтримці зусиль, спрямованих на те, щоб Україна стала повноправним членом Європейського Союзу в досягненні довгострокових стратегічних цілей і зобов'язань ЄС [1].

Завданням дослідження є кількісна та якісна оцінка змісту запропонованого рішення щодо доцільності фінансування проектів у контексті стійкості регіонів у рамках актуальних суспільних викликів.

Ключовим результатом статті є комплексний підхід оцінювання проектів щодо підвищення стійкості регіонів, для практичного використання оціночними комісіями та особами, які приймають рішення на державних та місцевих рівнях, а також у приватному секторі. Набуті знання та підходи можна передати на оцінку проектів за межами Європейського Союзу, а комплексна гібридна методологія вирішення проблеми дозволить повторити процедуру іншим науковцям та експертам/оцінювачам проектів, спрямованих на посилення стійкості регіонів.

З вище наведеного можемо сформулювати наукову гіпотезу даного дослідження наступним чином. Якщо проект підвищення стійкості регіонів, успішно реалізований, тоді можна стверджувати про високу оцінку доцільності фінансування проекту, отриману на основі побудованої комплексної гібридної математичної моделі, що враховує цільові потреби інвесторів та висновки експертів, щодо можливості досягнення цілей.

У відповідь на всі ці факти було вирішено зробити актуальне дослідження розроблення комплексної гібридної математичної моделі доцільності фінансування проектів щодо підвищення стійкості регіонів. Гібридна комплексна модель визначає рівень доцільності фінансування проекту, враховуючі цільові потреби інвесторів та висновки експертів, щодо можливості досягнення цілей для підвищення стійкості регіонів, шляхом реалізацією даного проекту. Гібридна комплексна модель зосереджується на неупередженому оцінюванні претендентів на гранди та підвищує безпеку їх фінансування.

Комплексна модель є складною системою функціонування, яка враховує різні фактори впливу, такі як: важливості ідеї проекту щодо підвищення стійкості регіонів; ризик-орієнтовані фактори впливу, що потенційно призведуть на успішність реалізації проекту; фактори людського впливу та команди реалізаторів проекту, їх досвід та знання у проблематиці стійкості регіонів. Також враховує цілі інвестора щодо потреби та доцільності фінансування проектів, а також експертного висновку щодо можливості досягнення мети підвищення стійкості регіонів, шляхом реалізацією даного проекту, за підтримки інвесто-

рів. Крім цього, для адекватної підтримки прийняття рішень та опрацювання відомостей отриманих від експертів, модель базується на основі сучасної теорії інтелектуального аналізу знань, теорії нечітких множин, нейро-нечітких мереж та системному підході.

**2. Огляд літератури.** Реалізація стратегічних планів підтримуватиметься різними грантовими схемами, за які дослідницькі та проектні групи змагатимуться на регіональному та місцевому рівнях. Багато держав-членів Організація економічного співробітництва і розвитку та ЄС прийняли інтегровані інвестиційні стратегії та інтегровані інвестиційні пакети, як інструмент реалізації, а також запровадили механізми для координації між секторальних державних інвестицій. Понад дві третини з них розробили інтегровану національну інвестиційну стратегію, наприклад: Стратегія розвитку Словаччини до 2030 року; Національний інвестиційний план Словацької Республіки. Однак міжгалузєва координація інвестиційного планування є серйозною проблемою на субнаціональному рівні. Відсутність міжгалузєвої координації є однією з шести основних проблем, визначених органами влади держав-членів ЄС, причому майже 80% вважають це основною проблемою [2]. На основі аналізу, представленого у Восьмому звіті ЄС про згуртованість, викладено основні зміни в територіальних нерівностях за останнє десятиліття та те, як політика вплинула на ці нерівності [3].

Емпіричні результати досліджень можуть сприяти підтримці екологічної та економічної політики в країнах ЄС для досягнення їх сталого розвитку та цілей Європейської зеленої угоди, а також стійкості малих і середніх підприємств [4–6]. У роботі [7] розглядається економічний і фінансовий аналіз доцільності водневої енергетики проектів у Китаї, щоб знайти для них відповідні рішення екологічного фінансування. У дослідженні [8] оцінюється причинно-наслідковий зв'язок між «зеленими» фінансами (GF) і сталим розвитком (SD) у глобальному масштабі за допомогою тесту причинно-наслідкових зв'язків Грейнджера. Комплексне дослідження [9] пропонує методологію багатофакторного моделювання інвестиційних потоків у регіональну «зелену» енергетику з урахуванням пріоритетів національних, регіональних та місцевих органів влади, в рамках концепції сталого розвитку. У роботі [10] досліджено вибір найкращих проектів у сфері відновлюваної енергетики з використанням гібридної системи прийняття рішень з екологічних, економічних, технічних і соціальних аспектів на субнаціональному рівні. Тим не менше, всі такі дослідження описують процедури аналізу та фактори, на які потрібно звертати увагу, не підкріплюючи це сучасним математичним інструментом.

Гібридні моделі поєднують кількісні та якісні методи. Вони використовуються в ситуаціях з високою невизначеністю або за відсутності повних кількісних даних про оцінюване явище/подію. Наприклад, у роботі [11] використано гібридний підхід до математичного моделювання управління інфекційними відходами. Наприклад найпоширеніші інструменти, що використовуються для гібридного моделювання ризиків: метод аналізу ієрархій [12], нечітка логіка [13] та кластерний аналіз [14]. Відомо багато алгоритмів нечіткого виведення, наприклад, Мамдані, Сугено, Цукамото, Ларсен та інші. Всі вони передбачають формування бази правил систем нечіткого виведення. Однак, не для всіх прикладних задач оцінювання ризику існує така можливість. Аналіз наукових

джерел, свідчить про необхідність систематизації засобів і розробки алгоритмів нейро-нечітких моделей для задач оцінювання компетентності різних спеціалістів. Тому необхідно розробляти математичний та гнучкий інструментарій для оцінювання ризиків чіткої предметної області.

Комплексна модель — це комплексна система функціонування, яка враховує різні чинники впливу, такі як важливість ідеї проекту для покращення стійкості регіонів; ризик-орієнтовані фактори впливу, які потенційно призводять до успіху проекту; факторів впливу людини та команди виконавців проекту, їх досвіду та знань у сфері сталого розвитку регіонів. Крім того, для адекватної підтримки прийняття рішень та обробки інформації, отриманої від експертів, модель базується на сучасній теорії інтелектуального аналізу знань [1], теорії нечітких множин, нейро-нечітких мереж і системному підході.

Наведене вище, аргументує та підтверджує актуальність дослідження: розробки комплексної гібридної математичної моделі доцільності фінансування проектів.

**3. Матеріали та методи.** Сьогодні спостерігаємо велику кількість інноваційних та стартап проектів, що дозволяють швидко розв'язувати різні проблеми в контексті сталого розвитку. Наприклад, впровадження таких проектів дозволяє ефективно та швидко зменшити негативний вплив сфери людської діяльності на навколишнє середовище, або підвищити здоров'я громадян. Нікому не є секрет, що стартап (інноваційні) проекти або грантові проекти дають швидкі та кращі рішення, ніж державні проекти, що зав'язані на складних бюрократичних діях та процедурах. Крім цього, в умовах надзвичайної ситуації виникають багато проблем, вирішення яких важливо-необхідне за критично короткий період часу. Доказом цього є робота муніципалітету/регіону/держави в умовах пандемії COVID-19.

Постає необхідність фінансування таких проектів для їх реалізації та впровадження на ринок. Фінансування інноваційних проектів — це ризикова діяльність. Для мінімізації ризиків необхідно мати адекватні системи підтримки прийняття рішень оцінювання самих проектів, команди, що реалізують проект та ризиків.

Запропонуємо комплексну гібридну математичну модель доцільності фінансування проектів щодо підвищення стійкості регіону. Модель буде враховувати цільові потреби інвесторів та висновки експертів, щодо можливості досягнення цілей таких, як підвищення стійкості регіону при реалізації проекту. Тому модель називається гібридною, оскільки з одного боку використовує дані про проект із проектною заявкою, що є структуровані, слабо структуровані чи не структуровані, а з іншого боку поєднує практичний досвід та знання експертів. Отриманий рівень, що є комплексним показником, підвищує ступень та гарантує безпеку фінансування таких проектів.

Оскільки наша задача є з області експертного оцінювання, тоді введемо наступні суб'єкти управління: експерти — особи, що аналізують та оцінюють проектну заявку; інвестори — це суб'єкти, що готові профінансувати оцінювані проекти; проектні аналітики — це особа, яка налаштовує весь процес оцінювання, враховуючи потреби інвесторів.

Нехай системну теоретико-множинну модель задачі оцінювання проектів

для запропонованої задачі, представимо наступним чином:

$$\{P, M_P, M_R, M_T, G_P, G_R, G_T, L, M_A | Y(f)\}. \quad (1)$$

Тут маємо:  $P = (p_1; p_2; \dots; p_n)$  – множина проектів, що подаються на розгляд деяким експертам для фінансування інвесторами;  $M_P$  – нечітка модель оцінювання проекту, в контексті підвищення стійкості регіону реалізації проекту;  $M_R$  – нечітка модель оцінювання ризиків реалізації проекту;  $M_T$  – нечітка модель оцінювання компетенцій команди реалізаторів проекту;  $G_P$  – ціль важливості регіону, де буде реалізований проект;  $G_R$  – ціль прийнятних ризиків;  $G_T$  – ціль компетентності суб'єктів реалізації проекту;  $L$  – експертні висновки щодо можливості досягнення мети підвищення стійкості регіону, шляхом реалізацією даного проекту за підтримки інвесторів та врахування їх цілей;  $M_A$  – модель агрегування вихідних даних для виведення рівня прийняття рішень доцільності фінансування проекту.

В результаті отримуємо вихідну оцінку  $f = \mu_Y(f(\varphi_e))$  та рівень  $Y$ , що містить зміст доцільності фінансування проекту, враховуючі цільові потреби інвесторів  $G$  та висновки експертів  $L$ .

Етапи проектування комплексної гібридної математичної моделі представимо у розрізі наведених нечітких математичних моделей, для отримання оцінок проектів по різних інформаційних моделях, та моделі агрегування вихідних оцінок для визначення рівня фінансування проектів.

$M_P$  – нечітка модель оцінювання проекту, в контексті підвищення стійкості регіону реалізації проекту.

Тут пропонуємо використати одну із розроблених вже авторами моделі, що на виході отримаємо нормоване значення  $m_p \in [0; 1]$ , окремо для множини проектів  $P = (p_1; p_2; \dots; p_n)$ , а саме: нечітка модель для кількісної оцінки екологічних стартап проектів у повітряному транспорті [15], модель оцінки стартапів в умовах інформаційної невизначеності [16].

В основу запропонованих нечітких моделей оцінювання досліджуваних проектів потрібно будувати інформаційні моделі вхідних даних, що спрямовані для оцінювання проектів підвищення стійкості регіонів. В якості таких інформаційних моделей та множин критеріїв можемо використати з [1].

$M_R$  – нечітка модель оцінювання ризиків реалізації проекту.

Автором розроблено ряд нечітких моделей оцінювання ризиків реалізації проекту, як для інвестиційних так, і для інноваційних проектів, чи спрямованих на реалізацію грантових проектів [17–18]. На виході наведених підходів отримаємо нормоване значення  $m_r \in [0; 1]$ . Щодо питання оцінювання ризикорієнтованих факторів впливу на реалізацію проекту дуже складне. В залежності від проекту, регіону та етапів реалізації проекту потрібно набудовувати різні показники ризиків. Є багато різних класифікаційних підходів щодо оцінювання ризиків, як для класичних, так і інноваційних та стартап проектів. Авторами не одноразово це питання піднімалося [19]. Більш обґрунтовано питання висвітлено у праці. Критерії, за допомогою яких експерт може оцінити ризики, що можуть бути при реалізації проектів для підвищення стійкості регіонів наведені у роботі [1].

$M_T$  – нечітка модель оцінювання компетенцій команди реалізаторів проекту.

У якості нечіткої моделі оцінювання компетенцій команди реалізаторів проекту пропонуємо скористатися розробленою автором інформаційною моделлю оцінювання та виведення рейтингу команд розробників стартап проектів [15]. Дана модель базується на нейро-нечіткій мережі, коли існують експертні нечіткі дані по командах розробників. Модель не потребує багато обчислень, розкриває суб'єктивність експертних думок та виводить рейтинг команд розробників.

На виході отримаємо нормоване значення  $m_t \in [0; 1]$ .

Таким чином, на основі пропонованих підходів отримуються нормовані оцінки проектів  $m_p(x_e)$ ,  $m_r(x_e)$ ,  $m_t(x_e)$ ,  $e = \overline{1, n}$ , відповідно до моделей оцінювання  $M_P$ ,  $M_R$ ,  $M_T$ . Не зменшуючи загальності, можна скористатися й іншими відомими моделями, методами та підходами, що дозволяють оцінити якість проекту, ризику реалізації його та команди розробників, причому для подальших обчислень запропонованою комплексною гібридною математичною моделлю вихідні оцінки повинні бути нормованими.

Особливістю комплексної гібридної математичної моделі є те, що інвестор має свої деякі цілі щодо потреби та можливості фінансування проектів. Такі цілі корелюються відповідно до моделей  $M_P$ ,  $M_R$ ,  $M_T$ . На основі досвіду авторів у предметній області, пропонуються наступні цілі:

$G_P$  – ціль важливості регіону, де буде реалізований проект.

Тут пропонуємо використати деяку категоризацію регіонів, наприклад: регіони міжнародного значення (1 категорія); регіони загальнодержавного значення (2 категорія); регіони над регіонального значення (3 категорія); регіони з переважним значенням тільки на регіональному рівні (4 категорія).

$G_R$  – ціль прийнятних ризиків представляє собою рівень ризику, що може собі інвестор дозволити інвестуючи у проект.

$G_T$  – ціль компетентності суб'єктів реалізації проекту.

По кожному проекту отримаємо координати за цілями  $G_P$ ,  $G_R$ ,  $G_T$ , що представимо у вигляді:  $(m_p(p_1), m_r(p_1), m_t(p_1))$ ,  $(m_p(p_2), m_r(p_2), m_t(p_2))$ ,  $\dots$ ,  $(m_p(p_n), m_r(p_n), m_t(p_n))$ .

Далі введемо в розгляд тривимірний вектор цілей інвесторів  $T^* = (A_1, A_2, A_3)$ , який враховує побажання інвесторів щодо значення альтернативних проектів згідно цілей  $G_P$ ,  $G_R$ ,  $G_T$ . Змоделюємо вектор цілей інвесторів наступним чином [1].

Нехай, аналізується об'єкт із 3 входами та одним виходом  $U = (A_1, A_2, A_3)$ , де  $U$  – вектор вихідної оцінки  $(u_1, u_2, u_3)$ , а його компоненти можуть мати із значень з інтервалу  $[0; 1]$ , а  $A_1 = (a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1t})$ ,  $A_2 = (a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2t})$ ,  $A_3 = (a_{31}, a_{32}, \dots, a_{3t})$  – вхідні лінгвістичні змінні.

Знання вектору цілей інвесторів  $T = (t_1, t_2, t_3)$  отримується з бази нечітких знань, що складається з систем логічних висловлювань – “Якщо – Тоді, Інакше”, які пов'язують значення вхідних змінних  $A_1, A_2, A_3$  з одним із можливих значень  $U$ :

Якщо  $A_1 = a_{1t}$  та  $A_2 = a_{2t}$  та  $A_3 = a_{3t}$  Тоді  $U = (u_1, u_2, u_3)$  Інакше . . .

Таким чином, інвестори задають лінгвістичне побажання вектору цілей, яке переводимо у вектор вихідної кількісної та нормованої оцінки  $(u_1, u_2, u_3)$ , яку позначимо відповідно  $(u_1, u_2, u_3) = (t_1, t_2, t_3)$ .

Нечітку базу знань для доцільності фінансування проектів пропонуємо наступним чином [1]:

**ЯКЩО** маємо цілі:

$G_P$  – ціль важливості регіону, де буде реалізований проект:

$a_{11}$  є 4 категорія регіону тоді  $u_1 = 0,4$ ;

$a_{12}$  є 3 категорія регіону тоді  $u_1 = 0,6$ ;

$a_{13}$  є 2 категорія регіону тоді  $u_1 = 0,8$ ;

$a_{14}$  є 1 категорія регіону тоді  $u_1 = 1$ .

**ТА**  $G_R$  – ціль прийнятних ризиків:

$a_{21}$  високий ризик тоді  $u_2 = 0,2$ ;

$a_{22}$  середній ризик тоді  $u_2 = 0,4$ ;

$a_{23}$  низький ризик тоді  $u_2 = 0,6$ ;

$a_{24}$  дуже низький ризик тоді  $u_2 = 0,8$ ;

$a_{25}$  мінімальний ризик тоді  $u_2 = 1$ .

**ТА**  $G_T$  – ціль компетентності суб'єктів реалізації проекту:

$a_{31}$  не цікавлять компетентності тоді  $u_3 = 0,2$ ;

$a_{32}$  можуть навіть бути низькі компетентності тоді  $u_3 = 0,5$ ;

$a_{33}$  цікавлять середні компетентності тоді  $u_3 = 0,7$ ;

$a_{34}$  потреба у найкращих компетенціях тоді  $u_3 = 1$ ;

ТОДІ логічне висловлювання можемо сформулювати наступним чином:

Якщо інвестору потрібно важливість регіону, де буде реалізований проект  $A_1$ , прийнятний ризик  $A_2$  та компетентності суб'єктів реалізації проекту  $A_3$ , тоді  $U = (u_1, u_2, u_3)$ .

Проектний аналітик може змінити кількісні рівні, або правила у цілях. Тому, база знань є відкрита, а кількість цілей при потребі можна збільшити.

По всіх проектах знаходимо величин  $Z_e = (z_{pe}, z_{re}, z_{te})$ ,  $e = \overline{1, n}$ , що характеризують відносні оцінки близькості оцінюваних проектів до вектору цілей інвесторів за кожною окремою ціллю  $G_P$ ,  $G_R$ ,  $G_T$ , знімаючи питання різних шкал оцінювання [1]:

$$z_{pe} = 1 - \frac{|u_1 - m_p(p_e)|}{\max \left\{ u_1 - \min_e m_p(p_e); \max_e m_p(p_e) - u_1 \right\}}, \quad (2)$$

$$z_{re} = 1 - \frac{|u_2 - m_r(p_e)|}{\max \left\{ u_2 - \min_e m_r(p_e); \max_e m_r(p_e) - u_2 \right\}}, \quad (3)$$

$$z_{te} = 1 - \frac{|u_3 - m_t(p_e)|}{\max \left\{ u_3 - \min_e m_t(p_e); \max_e m_t(p_e) - u_3 \right\}}, \quad (4)$$

Якщо для оцінювання подано один проект, тоді інвестору не має потреби висловлювати щодо власних цілей і даний етап пропускаємо. Для знаходження вектору величин  $Z_e$  по проектах повинно бути мінімум два проекти.

Далі для агрегування величин  $Z_e$  пропонуємо використовувати моделювання невизначеностей виду «середнє значення» в трьох вимірному просторі, за допомогою конусоподібної функції належності у просторі оцінок  $[0; 1]$ . Причому, значення центру основи конуса буде одиничний вектор  $(x_1^0; x_2^0; x_3^0) = (1; 1; 1)$ , а експериментально отримано масштабування за координатами вектору  $Z_e$  буде  $(3; 3; 3)$ . Тоді, тривимірна конусоподібна функція належності буде задаватися

формулою [1]:

$$\varphi_e = \begin{cases} 1 - \vartheta_e, & \text{якщо } \vartheta_e < 1, \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases}$$

де

$$\vartheta_e = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{(z_{pe} - 1)^2 + (z_{re} - 1)^2 + (z_{te} - 1)^2}, \quad e = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Таким чином, отримаємо вихідні оцінки  $\varphi_e$  з інтервалу  $[0; 1]$  по  $n$  проектах. Вектор цілей інвесторів забезпечує побудову ранжувального ряду альтернатив, заданих векторами оцінок, та підвищує безпеку вибору альтернативних варіантів згідно цільових потреб. Вихідна оцінка базується на оцінці важливості ідеї проекту, потенційні ризики реалізації проекту, компетенції команд розробників, та враховує цілі інвесторів щодо важливості регіону, де буде реалізований проект, прийнятність ризиків, компетентності суб'єктів реалізації проекту.

Далі, нехай експерти, що оцінюють проекти висловлюють висновки щодо можливості досягнення мети підвищення стійкості регіонів, шляхом реалізацією даного проекту за підтримки інвесторів та врахування їх цілей. Для такого висновку введемо лінгвістичну змінну  $L = \{L_1; L_2; \dots; L_5\}$ , де:  $L_1$  – висока можливість реалізації проекту враховуючи цілі інвесторів;  $L_2$  – можливість реалізації проекту враховуючи цілі інвесторів вище середнього;  $L_3$  – середня можливість реалізації проекту враховуючи цілі інвесторів;  $L_4$  – низька можливість реалізації проекту враховуючи цілі інвесторів;  $L_5$  – дуже низька можливість реалізації проекту враховуючи цілі інвесторів.

Далі запропонуємо  $M_A$  – модель агрегування вихідних даних для виведення рівня прийняття рішень доцільності фінансування проекту.

Для інтерпретації залежності вихідні оцінки  $\varphi_e$  та експертного висновку  $L$  щодо можливості досягнення мети підвищення стійкості регіонів, шляхом реалізацією даного проекту за підтримки цілей інвесторів, пропонуємо наступну функцію належності [1]:

$$f(\varphi_e) = \begin{cases} 0, & \varphi_e < 0; \\ (\varphi_e)^k, & 0 \leq \varphi_e < 1; \\ 1, & \varphi_e \geq 1. \end{cases} \quad e = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Де  $k$  – поріг можливості досягнення мети проекту за підтримки цілей інвесторів. Значення даного порогу змінюється в залежності експертного висновку  $L$ . Даний поріг можна отримати шляхом навчання на тестових даних проектів, маючи історію проектів та досліджуючи помилки першого та другого роду [19]. Помилки першого роду виникають у випадках, коли проект має хороші показники, отримує фінансування, а проект не реалізовується. Помилка другого роду виникає тоді, коли проект не отримує фінансування, але він реалізовується іншими коштами. Наприклад, експериментально поставимо:  $k = \frac{2}{9}$  коли маємо експертний висновок  $L_1$ ;  $k = \frac{7}{9}$  коли маємо експертний висновок  $L_2$ ;  $k = \frac{4}{9}$  – експертний висновок  $L_3$ ;  $k = \frac{5}{9}$  – експертний висновок  $L_4$ ;  $k = \frac{3}{2}$  – експертний висновок  $L_5$ .

Таким чином, ми отримали агреговані нормовані оцінки  $f(\varphi_e)$ ,  $e = \overline{1, n}$  з інтервалу  $[0; 1]$ , щодо моделей оцінювання проектів, цілей інвесторів та висновків експертів, що оцінюють проекти.



Рівні  $Y$  доцільності фінансування проекту враховуючі цільові потреби інвесторів та висновки експертів, представимо наступним чином:

- $y_1$  – дуже низький рівень доцільності фінансування проекту;
- $y_2$  – низький рівень доцільності фінансування проекту;
- $y_3$  – середній рівень доцільності фінансування проекту;
- $y_4$  – високий рівень доцільності фінансування проекту;
- $y_5$  – дуже високий рівень доцільності фінансування проекту.

Рівні прийняття рішень  $Y$  правильно розглядати за допомогою трикутних функцій належності. Це обумовлюється тим, що вони будуть мати перетини вихідних значень, а це дозволить розширити можливості прийняття рішень:

$$\mu_{y_1}(f(\varphi_e)) = \begin{cases} 1, & f(\varphi_e) \leq \delta - \frac{\delta}{2}; \\ \frac{3\delta - 4 \cdot f(\varphi_e)}{\delta}, & \delta - \frac{\delta}{2} < f(\varphi_e) \leq \delta - \frac{\delta}{4}. \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{y_2}(f(\varphi_e)) = \begin{cases} \frac{4 \cdot f(\varphi_e) - 2\delta}{\delta}, & \delta - \frac{\delta}{2} < f(\varphi_e) \leq \delta - \frac{\delta}{4}; \\ \frac{4\delta - 4 \cdot f(\varphi_e)}{\delta}, & \delta - \frac{\delta}{4} < f(\varphi_e) \leq \delta. \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{y_3}(f(\varphi_e)) = \begin{cases} \frac{4 \cdot f(\varphi_e) - 3\delta}{\delta}, & \delta - \frac{\delta}{4} < f(\varphi_e) \leq \delta; \\ \frac{5\delta - 4 \cdot f(\varphi_e)}{\delta}, & \delta < f(\varphi_e) \leq \delta + \frac{\delta}{4}. \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{y_4}(f(\varphi_e)) = \begin{cases} \frac{4 \cdot f(\varphi_e) - 4\delta}{\delta}, & \delta < f(\varphi_e) \leq \delta + \frac{\delta}{4}; \\ \frac{6\delta - 4 \cdot f(\varphi_e)}{\delta}, & \delta + \frac{\delta}{4} < f(\varphi_e) \leq \delta + \frac{\delta}{2}. \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{y_5}(f(\varphi_e)) = \begin{cases} \frac{4 \cdot f(\varphi_e) - 5\delta}{\delta}, & \delta + \frac{\delta}{4} < f(\varphi_e) \leq \delta + \frac{\delta}{2}; \\ 1, & f(\varphi_e) \geq \delta + \frac{\delta}{2}. \end{cases} \quad (11)$$

В залежності від того, в який інтервал попадає значення  $f(\varphi_e)$ , вибираємо ту чи іншу функцію належності  $\mu_y$  відносно ступеня  $\delta$ . Ступінь  $\delta$  належить з інтервалу  $[0; 1]$  та налаштовується проектним аналітиком, причому при потребі його можна змінювати. Таке налаштування має переваги в тому, що модель легко адаптується для різних по величині грантових проектів та конкурсів, від студентських до багатомільйонних Н2020. Оскільки побудовані функції належності (7)–(11) мають перетини, то для оцінюваних проектів  $p_e$ ,  $e = \overline{1, n}$  отримаємо або один, або два рівні прийняття рішень  $Y$  і відповідно таку ж кількість для них достовірностей.

В результаті обчислення, отримаємо лінгвістичне значення рівня прийняття рішень доцільності фінансування проекту  $Y$  та його оцінку достовірності. Тобто, достовірність того, що оцінка проекту належить до одного, або іншого рівня. Інвестори на основі вихідних даних приймають рішення щодо доцільності фінансування проектів для підвищення стійкості та здоров'я регіонів і міст, враховуючі цільові потреби інвесторів  $G$  та висновки експертів  $L$ . Якщо отримаємо ситуацію, що інвесторів не задовольняє жодне з рішень, тоді повертаємося до повторного оцінювання із залученням додаткових даних.

**4. Висновки та перспективи подальших досліджень.** Проведено дослідження актуальної задачі розроблення комплексної гібридної математичної моделі доцільності фінансування проектів щодо підвищення стійкості регіонів. Гібридна комплексна модель спроможна адекватно визначити рівень доцільності фінансування проекту, враховуючі цільові потреби інвесторів та висновки

експертів, щодо можливості досягнення цілей для підвищення стійкості регіонів, шляхом реалізацією даного проекту. Для опрацювання експертної інформації та нечітких вхідних даних, використовується інтелектуальний аналіз знань на основі функцій належності оцінок за критеріями, однієї та багатьох змінних, з урахуванням будь-якого типу вхідних даних. Інтелектуальний аналіз знань дозволяє розкривати суб'єктивізм експертів та отримати кількісну оцінку неформалізованої прикладної задачі. Цінність моделі є те, що дозволяє отримувати комплексну кількісну оцінку проекту по вхідним описовим (текстовим) даним, які отримуються із проектної заявки. Для експерта процедура оцінювання залишається класичною та відомою, він досліджує проектну заявку, після цього по ряду питань висловлює свої судження щодо важливості ідеї та якості проекту. Після цього, дані опрацюються відповідними нечіткими та гібридними моделями, що розкривають суб'єктивізм експертів, а налаштування параметрів моделей та цільових потреб інвесторів унеможливають суб'єктивний вплив учасників процесу оцінювання на остаточний результат. На виході моделі маємо вихідну кількісну оцінку та лінгвістичне значення рівня прийняття рішень доцільності фінансування проекту з оцінкою достовірності. Раціональність отриманої оцінки рівня доцільності фінансування проектів доводить переваги розробленої моделі.

При цьому, вперше запропоновано модель агрегування вихідних даних для виведення рівня прийняття рішень доцільності фінансування проекту, що обумовлює: вихідну оцінку, лінгвістичне значення рівня прийняття рішень доцільності фінансування проекту та його оцінку достовірності. Модель легко адаптується для різних по величині грантових проектів та конкурсів.

Сформульована гіпотеза наукового дослідження підтверджується достовірністю отриманих результатів, що у свою чергу забезпечуються обґрунтованим використанням апарату нечітких множин, інтелектуального аналізу знань, нейро-мереж та системного підходу.

Подальше дослідження проблематики вбачаємо у апробації дослідження на реальних даних проектів та конструюванні програмного забезпечення доцільності фінансування проектів щодо підвищення стійкості регіонів.

### Список використаної літератури

1. Kelemen M., Gavurova B., Polishchuk V. A. Complex Hybrid Model for Evaluating Projects to Improve the Sustainability and Health of Regions and Cities. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022. 19. 8217. P. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19138217>
2. Example of an Integrated Project Package. 2020. URL: <http://mastripruty.sk/wp-content/uploads/2020/09/IntegProjektBalicky.pdf> (date of access: 19.09.2022).
3. Cohesion in Europe towards 2050: 8th Cohesion Report. 2022. URL: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/information/publications/communications/2022/cohesion-in-europe-towards-2050-8th-cohesion-report](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/communications/2022/cohesion-in-europe-towards-2050-8th-cohesion-report) (date of access: 19.09.2022).
4. Simionescu M., Strielkowski W., Gavurova B. Could quality of governance influence pollution? Evidence from the revised Environmental Kuznets Curve in Central and Eastern European countries. *Energy Reports*. 2022. 8. P. 809–819. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.12.031>.
5. Fidlerová H., Starecek A., Vranaková N., Bulut C., Keaney M. Sustainable Entrepreneurship for Business Opportunity Recognition: Analysis of an Awareness Questionnaire among Organisations. *Energies*. 2022. 15. 849. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15030849>
6. Virglerova Z., Ivanova E., Dvorsky J., Belas J., Krulický T. Selected factors of internationalisation and their impact on the SME perception of the market risk. *Oeconomia Copernicana*.

2021. 12(4). P. 1011–1032. DOI: <https://doi.org/10.24136/oc.2021.033>
7. Taghizadeh-Hesary F., Li Y., Rasoulinezhad E., Mortha A., Long Y., Lan Y., Zhang Z., Li N., Zhao X., Wang Y. Green finance and the economic feasibility of hydrogen projects. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. 47(58). P. 24511–24522.
  8. Wang K.-H., Zhao Y.-X., Jiang C.-F., Li Z.-Z. Does green finance inspire sustainable development? Evidence from a global perspective. *Economic Analysis and Policy*. 2022. 75. P. 412–426.
  9. Sotnyk I., Kurbatova T., Romaniuk Y., Prokopenko O., Gonchar V., Sayenko Y., Prause G., Sapiński A. Determining the Optimal Directions of Investment in Regional Renewable Energy Development. *Energies*. 2022. 15(10). 3646. P. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15103646>
  10. Ramezanzade M., Karimi H., Almutairi K., Xuan H.A., Saebi J., Mostafaeipour A., Techato K. Implementing MCDM Techniques for Ranking Renewable Energy Projects under Fuzzy Environment: A Case Study. *Sustainability*. 2021. 13(22). 12858. P. 1–38. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132212858>
  11. Valizadeh J., Aghdamigargari M., Jamali A., Aickelin U., Mohammadi S., Akbarzadeh Khorshidi H., Hafezalkotob A. A hybrid mathematical modelling approach for energy generation from hazardous waste during the COVID-19 pandemic. *Journal of Cleaner Production*. 2021. 315. 128157. P. 1–16.
  12. Xiang W., Li X., Ni H., Liu B. Micromechanical analysis of fiber-reinforced ceramic matrix composites by a hierarchical quadrature element method. *Composite Structures*. 2022. 300. 116143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116143>
  13. Шаркаді М. М., Маляр М. М., Мазютинець Г. В. Нечітке моделювання показників фінансової безпеки підприємства. Вісник Ужгородського університету, серія «Математика і інформатика». 2020. 2(37). С. 176–183. DOI: [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.2\(37\).176-183](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.2(37).176-183)
  14. Kondruk N. E., Malyar M. M. Analysis of Cluster Structures by Different Similarity Measures. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2021. Vol. 57. P. 436–441. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-021-00368-4>
  15. Kelemen M., Polishchuk V., Gavurová B., Szabo S., Rozenberg R., Gera M., Kozuba J., Andoga R., Divoková A., Bliš'an P. Fuzzy Model for Quantitative Assessment of Environmental Start-up Projects in Air Transport. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019. 16. 3585. P. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16193585>
  16. Polishchuk V., Malyar M., Sharkadi M., Liakh I. Model of start-ups assessment under conditions of information uncertainty. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies, Mathematics and cybernetics – applied aspects*. 2016. 3/4(81). P. 43–49. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71222>
  17. Polishchuk V., Kelemen M., Gavurová B., Varotsos C., Andoga R., Gera M., Christodoulakis J., Soušek R., Kozuba J., Bliš'an P., Szabo Jr. S. A Fuzzy Model of Risk Assessment for Environmental Start-up Projects in the Air Transport Sector. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019. 16. 3573. P. 1–19. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16193573>
  18. Маляр М. М., Поліщук В. В., Шаркаді М. М. Модель інформаційної технології оцінювання ризику фінансування проєктів. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2017. 2017/2. С. 44–52. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-2-5>
  19. Polishchuk V. Evaluation of start-up projects in conditions of risk and uncertainty. Uzhhorod: Publishing house "FOP Sabov AM 2021. 120 p.

### **Polishchuk V. V., Petranova M. Yu., Povkhanich V. I. Complex hybrid mathematical model of feasibility of financing project.**

Research has been carried out on the urgent task of developing a complex hybrid mathematical model of the feasibility of financing projects to increase the stability of regions.

The hybrid mathematical complex model is able to adequately determine the level of feasibility of project financing, taking into account the target needs of investors and the conclusions of experts, regarding the possibility of achieving goals for increasing the stability of regions, through the implementation of this project. The complex model is a complex system of functioning that takes into account various influencing factors, such

as: the importance of the project idea to increase the stability of regions; risk-oriented influencing factors that will potentially lead to the success of project implementation; human influence factors and project implementation teams. It also takes into account the investor's goals regarding the need and feasibility of project financing. The model is based on the modern theory of intellectual analysis of knowledge, the theory of fuzzy sets, neuro-fuzzy networks and the system approach. At the output of the model, we have the initial quantitative assessment and the linguistic value of the decision-making level of the feasibility of financing the project with an assessment of reliability.

In addition, for the first time, a model of the aggregation of initial data was proposed to derive the level of decision-making on the feasibility of project financing, which determines: the initial assessment, the linguistic value of the level of decision-making on the feasibility of project financing, and its credibility assessment. The model is easily adapted for grant projects and competitions of different sizes.

The formulated hypothesis in scientific research is confirmed by the reliability of the results obtained. The conducted research will be a useful tool for project analysts in the framework of preventing ineffective financing of projects and maintaining the sustainability of regional development.

**Keywords:** hybrid model, neural network, fuzzy sets, feasibility of financing projects, sustainability of regions, decision-making.

## References

1. Kelemen, M., Gavurova, B., & Polishchuk, V. (2022). A Complex Hybrid Model for Evaluating Projects to Improve the Sustainability and Health of Regions and Cities. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 8217, 1–26. <https://doi.org/8217.10.3390/ijerph19138217>
2. Example of an Integrated Project Package. (2020). Retrieved from: <http://mastripruty.sk/wp-content/uploads/2020/09/IntegProjektBalicky.pdf>
3. Cohesion in Europe towards 2050: 8th Cohesion Report. (2022). Retrieved from: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/information/publications/communications/2022/cohesion-in-europe-towards-2050-8th-cohesion-report](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/communications/2022/cohesion-in-europe-towards-2050-8th-cohesion-report)
4. Simionescu, M., Strielkowski, W., & Gavurova, B. (2022). Could quality of governance influence pollution? Evidence from the revised Environmental Kuznets Curve in Central and Eastern European countries. *Energy Reports*, 8, 809–819. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.12.031>
5. Fidlerová, H., Starecek, A., Vranaková, N., Bulut, C., & Keaney, M. (2022). Sustainable Entrepreneurship for Business Opportunity Recognition: Analysis of an Awareness Questionnaire among Organisations. *Energies*, 15, 849, 1–15. <https://doi.org/10.3390/en15030849>
6. Virglerova, Z., Ivanova, E., Dvorsky, J., Belas, J., & Krulický, T. (2021). Selected factors of internationalisation and their impact on the SME perception of the market risk. *Oeconomia Copernicana*, 12(4), 1011–1032. <https://doi.org/10.24136/oc.2021.033>
7. Taghizadeh-Hesary, F., Li, Y., Rasoulinezhad, E., Mortha, A., Long, Y., Lan, Y., Zhang, Z., Li, N., Zhao, X., & Wang, Y. (2022). Green finance and the economic feasibility of hydrogen projects. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(58), 24511–24522.
8. Wang, K.-H., Zhao, Y.-X., Jiang, C.-F., & Li, Z.-Z. (2022). Does green finance inspire sustainable development? Evidence from a global perspective. *Economic Analysis and Policy*, 75, 412–426.
9. Sotnyk, I., Kurbatova, T., Romaniuk, Y., Prokopenko, O., Gonchar, V., Sayenko, Y., Prause, G., & Sapiński, A. (2022). Determining the Optimal Directions of Investment in Regional Renewable Energy Development. *Energies*, 15(10), 3646, 1–26. <https://doi.org/10.3390/en15103646>
10. Ramezanzade, M., Karimi, H., Almutairi, K., Xuan, H. A., Saebi, J., Mostafaeipour, A., & Techato, K. (2021). Implementing MCDM Techniques for Ranking Renewable Energy Projects under Fuzzy Environment: A Case Study. *Sustainability*, 13(22), 12858, 1–38. <https://doi.org/10.3390/su132212858>
11. Valizadeh, J., Aghdamigargari, M., Jamali, A., Aickelin, U., Mohammadi, S., Akbarzadeh Khorshidi, H., & Hafezalkotob, A. (2021). A hybrid mathematical modelling approach for energy generation from hazardous waste during the COVID-19 pandemic. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128157, 1–16.

12. Xiang, W., Li, X., Ni, H., & Liu, B. (2022). Micromechanical analysis of fiber-reinforced ceramic matrix composites by a hierarchical quadrature element method. *Composite Structures*, 300, 116143. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116143>.
13. Sharkadi, M., Malyar, M., & Mazyutynets, G. (2020). Fuzzy modeling of financial security indicators of the enterprise. *Bulletin of Uzhgorod University, series "Mathematics and Informatics"*, 2(37), 176–183. [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.2\(37\).176-183](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.2(37).176-183) [in Ukrainian].
14. Kondruk, N. E., & Malyar, M. M. (2021). Analysis of Cluster Structures by Different Similarity Measures. *Cybern. Syst. Anal.*, 57, 436–441. <https://doi.org/10.1007/s10559-021-00368-4>
15. Kelemen, M., Polishchuk, V., Gavurová, B., Szabo, S., Rozenberg, R., Gera, M., Kozuba, J., Andoga, R., Divoková, A., & Bliš'an, P. (2019). Fuzzy Model for Quantitative Assessment of Environmental Start-up Projects in Air Transport. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 3585, 1–21. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193585>
16. Polishchuk, V., Malyar, M., Sharkadi, M., & Liakh, I. (2016). Model of start-ups assessment under conditions of information uncertainty. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies, Mathematics and cybernetics – applied aspects.*, 3/4(81), 43–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.71222>
17. Polishchuk, V., Kelemen, M., Gavurová, B., Varotsos, C., Andoga, R., Gera, M., Christodoulakis, J., Soušek, R., Kozuba, J., Bliš'an, P., & Szabo, Jr. S. (2019). A Fuzzy Model of Risk Assessment for Environmental Start-up Projects in the Air Transport Sector. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 3573, 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193573>
18. Polishchuk, V. V., Malyar, M. M., & Sharkadi, M. M. (2017). Model informatsiynoyi tekhnolohiyi otsinyuvannya ryzyku finansuvannya proektiv. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2017/2, 44–52. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-2-5> [in Ukrainian].
19. Polishchuk, V. (2021). Evaluation of start-up projects in conditions of risk and uncertainty. *Uzhhorod: Publishing house "FOP Sabov AM"*.

Одержано 05.10.2022