DOI https://doi.org/10.32689/maup.it.2026.2.1
УДК 004.65:519.71
JEL Classification: C44, M15, M19

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ІТ-ПРОЄКТАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

А. С. Возниця, А. С. Савченко

FORMALIZATION OF IT PROJECT OPERATIONAL EFFICIENCY USING FUZZY LOGIC METHODS

Anastasiia Voznytsia, Alina Savchenko

Анотація

Об'єктом дослідження є оцінка операційної ефективності ІТ-проєктів в умовах високої невизначеності, характерної для Agile-середовищ, де на результативність впливають критичність шляху, ресурсне навантаження, рівень ризиків і якість комунікації. Проблема, що вирішувалася, полягала у відсутності достатньо стійкого та математично обґрунтованого підходу до кількісної оцінки ефективності проєктів, здатного враховувати нечіткість експертних оцінок і шум у даних, що надходять із систем управління, зокрема Jira. Для розв'язання цієї проблеми запропоновано гібридну модель, яка поєднує Type-1 Mamdani Fuzzy Inference System та Interval Type-2 Fuzzy Logic із footprint-of-uncertainty для моделювання невизначеності membership functions. У моделі формалізовано чотири ключові фактори, а для аналізу критичного шляху використано fuzzy PERT. Отримані результати показали високу практичну результативність підходу: точність прогнозування досягла 94%, velocity зросла на 28%, час планування скоротився на 42%, а delivery rate підвищився з 72% до 94%. Порівняльний аналіз засвідчив перевагу запропонованої моделі над класичним EVMS і crisp PERT, а також підтвердив вищу робастність Interval Type-2 Fuzzy Logic порівняно з Type-1 моделлю. Ці результати дозволили вирішити зазначену проблему завдяки здатності моделі одночасно враховувати експертну нечіткість, варіативність проєктних даних і взаємозв'язок між ключовими факторами ефективності. Пояснюються вони поєднанням нечіткої логіки, інтервального типу представлення невизначеності та інтеграції з реальними даними Jira через n8n workflows. На практиці результати можуть бути використані для real-time моніторингу, прогнозування та підтримки управлінських рішень у Jira/ClickUp-екосистемах під час реалізації ІТ-проєктів.

Ключові слова: *нечітка логіка, interval type-2 fuzzy, Mamdani FIS, ІТ-проєктне управління, fuzzy PERT, Jira інтеграція, footprint-of-uncertainty.*

Abstract

The object of the study is the assessment of the operational efficiency of IT projects under high uncertainty typical of Agile environments, where performance is influenced by path criticality, resource load, risk level, and communication quality. The problem addressed was the lack of a sufficiently robust and mathematically grounded approach to the quantitative evaluation of project efficiency that could account for the fuzziness of expert judgments and noise in data coming from project management systems, particularly Jira. To solve this problem, a hybrid model was proposed that combines a Type-1 Mamdani Fuzzy Inference System and Interval Type-2 Fuzzy Logic with a footprint of uncertainty for modeling uncertainty in membership functions. The model formalizes four key factors, while fuzzy PERT is used for critical path analysis. The obtained results demonstrated strong practical effectiveness of the approach: forecasting accuracy reached 94%, velocity increased by 28%, planning time decreased by 42%, and the delivery rate improved from 72% to 94%. Comparative analysis confirmed the superiority of the proposed model over classical EVMS and crisp PERT, as well as the higher robustness of Interval Type-2 Fuzzy Logic compared to the Type-1 model. These results made it possible to solve the stated problem by enabling the model to simultaneously account for expert ambiguity, variability in project data, and the interdependence of key efficiency factors. They are explained by the combination of fuzzy logic, interval representation of uncertainty, and integration with real Jira data through n8n workflows. In practice, the results can be used for real-time monitoring, forecasting, and decision support in Jira/ClickUp ecosystems during IT project execution.

Key words: *fuzzy logic, interval type-2 fuzzy, Mamdani FIS, IT project management, fuzzy PERT, Jira integration, footprint-of-uncertainty.*

1. Вступ. Сучасні ІТ-проєкти реалізуються в умовах високої динаміки, постійної зміни вимог, багатоканальної комунікації та значної невизначеності, що істотно ускладнює об'єктивне оцінювання їхньої операційної ефективності. Особливо це характерно для Agile-середовищ, у яких результативність виконання проєктів залежить не лише від планових параметрів, а й від таких чинників, як критичність окремих етапів, ресурсне навантаження, рівень ризиків, узгодженість дій команди та своєчасність обміну інформацією. У таких умовах традиційні детерміновані підходи до планування й контролю, зокрема CPM, EVM та їхні похідні, виявляються недостатньо гнучкими, оскільки не враховують нечіткість експертних оцінок і варіативність даних, що надходять із проєктних систем управління.

© Возниця А. С., Савченкор А. С., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Саме тому дослідження, спрямовані на розроблення робастних кількісних моделей оцінювання операційної ефективності ІТ-проєктів, є актуальними.

Аналіз наукових публікацій останніх років свідчить про активний розвиток методів нечіткої логіки в управлінні проєктами. Зокрема, підходи на основі fuzzy PERT дають змогу враховувати невизначеність тривалості робіт і покращують аналіз критичного шляху, однак переважно обмежуються локальним моделюванням часових параметрів і не забезпечують комплексної оцінки операційної ефективності проєкту. Моделі на основі Interval Type-2 Fuzzy Logic є більш придатними для опису невизначеності, оскільки дозволяють враховувати розбіжності між експертними судженнями через footprint of uncertainty, проте їх застосування часто залишається теоретичним і не інтегрується з реальними даними проєктів у режимі реального часу. Нечіткі модифікації earned value management покращують аналіз виконання робіт, але здебільшого орієнтовані на окремі аспекти вартості або строків, не охоплюючи повною мірою ресурсні, комунікаційні та ризикові параметри. Окремі дослідження, присвячені оцінюванню зусиль або продуктивності в Agile-проєктах, також підтверджують перспективність нечітких підходів, однак не пропонують інтегрованої моделі, здатної об'єднати дані критичного шляху, експертні оцінки та показники з системи управління проєктами. Отже, в аналізованих джерелах залишилася невирішеною проблема побудови єдиного гібридного підходу до оцінювання операційної ефективності ІТ-проєктів, який би одночасно враховував кілька типів невизначеності та був придатним для застосування на практиці.

Наявність цієї прогалини зумовлює необхідність подальших досліджень, спрямованих на поєднання переваг Type-1 та Interval Type-2 нечіткої логіки в межах одного аналітичного підходу. Така модель має забезпечувати формалізацію ключових факторів, що визначають успішність ІТ-проєкту, а також бути придатною для інтеграції з операційними даними, отриманими з Jira або подібних систем управління. Практична цінність подібного підходу полягає у можливості реалізації моніторингу в режимі реального часу, підвищення точності прогнозування, покращення якості управлінських рішень і зменшення ризику систематичних відхилень у плануванні та виконанні проєктів.

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена потребою у створенні математично обґрунтованої, робастної та практично придатної моделі оцінювання операційної ефективності ІТ-проєктів в умовах невизначеності. Результати такого дослідження можуть бути використані для підвищення якості управління ІТ-проєктами, удосконалення процесів планування та контролю, а також для підтримки рішень у цифрових середовищах, орієнтованих на Agile-підхід.

Метою дослідження є розроблення та експериментальна валідація гібридної Type-1/IT2 fuzzy-моделі оцінювання операційної ефективності ІТ-проєктів, що дає змогу підвищити точність прогнозування, стійкість до невизначеності та практичну придатність моделі для інтеграції з даними Jira.

Для досягнення цієї мети були поставлені такі задачі:

– проаналізувати сучасні підходи до оцінювання ефективності ІТ-проєктів в умовах невизначеності;
– визначити ключові фактори, що впливають на операційну ефективність проєкту;
– формалізувати модель оцінювання на основі Type-1 та Interval Type-2 нечіткої логіки;
– розробити механізм інтеграції моделі з даними Jira;
– провести експериментальну перевірку запропонованого підходу;
– порівняти результати з традиційними методами оцінювання, зокрема CPM та EVM.

2. Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є процес оцінювання операційної ефективності ІТ-проєктів в умовах невизначеності, характерної для Agile-середовищ. Основною гіпотезою дослідження є припущення, що гібридна модель, яка поєднує Type-1 Mamdani Fuzzy Inference System та Interval Type-2 Fuzzy Logic, забезпечує більш стійке та інформативне оцінювання операційної ефективності порівняно з детермінованими підходами. У роботі прийнято припущення, що ключові фактори ефективності можуть бути формалізовані через чотири вхідні змінні: критичність шляху, ресурсне навантаження, рівень ризиків і якість комунікації. Також припускається, що експертні оцінки та дані з Jira можуть бути подані у вигляді нечітких чисел, придатних для подальшої обробки. До спрощень належить використання трикутних функцій належності, фіксованого набору лінгвістичних термів і обмеження простору невизначеності за допомогою FOU з наперед заданими межами. Дослідження виконувалося із застосуванням MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, IT2 Toolbox та інтеграційного середовища n8n для взаємодії з Jira API. У цьому розділі наведено лише методи побудови та реалізації моделі, тоді як результати експериментальної перевірки подано в наступному розділі.

а. Математична модель нечіткої оцінки

Далі подано математичну формалізацію моделі, структуру нечіткого висновування, спосіб побудови бази правил та процедуру інтеграції з даними проєкту.

Для подання лінгвістичних оцінок змінних *CP, RL, RR, CQ* використано трикутні нечіткі множини. Функція належності у цьому випадку має вигляд:

– якщо $x \le a$, то належність дорівнює 0;
– якщо $a < x \le b$, то належність лінійно зростає від 0 до 1;
– якщо $b < x \le c$, то належність лінійно спадає від 1 до 0;
– якщо $x \ge c$, то належність знову дорівнює 0.

a – ліва межа трикутника, *b* – вершина трикутника, де належність максимальна і дорівнює 1, *c* – права межа трикутника.

Застосування трикутних функцій належності є обґрунтованим з огляду на їхню інтерпретованість, простоту параметризації та можливість ефективного використання в системах нечіткого висновування. Крім того, така форма належності добре відповідає природі експертних оцінок, які, як правило, є наближеними, але не абсолютно випадковими.

b. Структура Type-1 Mamdani FIS

Базова частина моделі побудована на принципах Mamdani Fuzzy Inference System. Для кожної з чотирьох вхідних змінних визначено три лінгвістичні терми: low, medium, high. Це зумовлює формування 81 правила нечіткого висновування:

$$N_{rules} = 3^4 = 81. \tag{1}$$

Кожне правило має стандартну структуру:

$$\text{IF } CP \text{ is } A_i \wedge RL \text{ is } B_j \wedge RR \text{ is } C_k \wedge CQ \text{ is } D_l \text{ THEN } OEE \text{ is } E_m \tag{2}$$

Наприклад:

$$\text{IF } CP \text{ is high} \wedge RL \text{ is over} \wedge RR \text{ is high} \wedge CQ \text{ is poor THEN } OEE \text{ is very low}. \tag{3}$$

У межах Mamdani-архітектури агрегування передумов здійснюється за допомогою оператора , а об'єднання висновків – за оператором . Остаточне перетворення нечіткого результату в чітке числове значення виконується методом центру ваги:

$$OEE^* = \frac{\int z \cdot \mu_{OEE}(z), dz}{\int \mu_{OEE}(z), dz}. \tag{4}$$

Саме ця процедура забезпечує отримання кількісної оцінки, яка може бути безпосередньо використана для управлінських рішень.

c. Розширення до Interval Type-2 Fuzzy Logic

Оскільки реальні дані управління IT-проєктами часто є шумними, неповними або такими, що містять суперечливі експертні оцінки, базову Type-1 модель доцільно розширити до Interval Type-2 Fuzzy Logic. У цьому разі кожна функція належності задається не одним значенням, а інтервалом:

$$\tilde{\mu}(x) = [\underline{\mu}(x), \bar{\mu}(x)]. \tag{5}$$

Такий підхід дає змогу враховувати невизначеність, пов'язану як із суб'єктивністю експертів, так і з неточністю даних, отриманих з інформаційних систем типу Jira. Простір між верхньою та нижньою функціями належності формує footprint-of-uncertainty (FOU), який є ключовим елементом Type-2 моделювання. Для змінної *CP*, наприклад, FOU було встановлено на рівні ± 10, що дозволяє відобразити розбіжності в оцінках критичності шляху.

Для переходу від інтервального нечіткого результату до чіткого значення застосовано процедуру type-reduction за алгоритмом Karnik–Mendel:

$$Y_{crisp} = \frac{Y_l + Y_r}{2}. \tag{6}$$

де Y_l та Y_r – ліва й права межі інтервального результату. Даний механізм забезпечує не лише отримання центрального значення, а й оцінку меж невизначеності, що підвищує надійність інтерпретації результатів.

d. Інтерпретація вхідних змінних

Для забезпечення однозначної інтерпретації побудовано шкали оцінювання вхідних параметрів.

ISSN 2786-5460 (Print), ISSN 2786-5479 (Online)

Таблиця 1

Шкали оцінювання вхідних змінних

Змінна	Низький рівень	Середній рівень	Високий рівень
CP	0.0–0.30	0.30–0.70	0.70–1.00
RL	0.0–0.60	0.60–0.90	0.90–1.00
RR	0.0–0.25	0.25–0.60	0.60–1.00
CQ	0.0–0.40	0.40–0.80	0.80–1.00

Запропоновані межі відображають типову управлінську інтерпретацію: надмірне ресурсне навантаження та високий ризик мають негативний вплив на ефективність, тоді як висока якість комунікації та контрольована критичність шляху сприяють стабілізації виконання проєкту.

e. База нечітких правил

Для забезпечення логічної повноти моделі сформовано базу з 81 правила. Нижче наведено фрагмент типової матриці нечіткого висновування.

Таблиця 2

Фрагмент бази нечітких правил

CP	***RL***	***RR***	***CQ***	**Вихід *OEE***
high	over	high	poor	very low
high	over	medium	poor	low
high	optimal	high	medium	low
medium	optimal	medium	good	medium
low	under	low	excellent	high
low	optimal	low	excellent	very high

Структура правил відображає узагальнену залежність між управлінськими параметрами та ефективністю: із зростанням критичності, ризиків і перевантаження команди ефективність знижується, тоді як збалансоване використання ресурсів і сприятливі комунікації підвищують значення інтегрального показника.

f. Формалізація вхідних параметрів на основі Jira

Для практичного застосування модель інтегровано з Jira через API та автоматизовано за допомогою n8n. З цієї системи отримуються дані про тривалість завдань, кількість блокерів, зміну статусів, обсяг призначених годин і частоту комунікацій. На їхній основі обчислюються значення вхідних параметрів моделі:

$$CP = \frac{T_{critical}}{T_{sprint}}. \tag{7}$$

$$RL = \frac{H_{assigned}}{H_{capacity}}. \tag{8}$$

$$RR = \frac{N_{RiskEvents}}{N_{tasks}}. \tag{9}$$

$$CQ = 1 - \frac{N_{clarif\ ications}}{N_{communications}}. \tag{10}$$

Така схема дозволяє не лише автоматизувати обчислення, а й забезпечити регулярне оновлення оцінки ефективності в процесі виконання спринту. Це суттєво підвищує практичну цінність моделі в порівнянні з підходами, які застосовуються лише постфактум.

g. Експериментальна перевірка

Модель було перевірено на даних 8-спринтового проєкту, у межах якого оброблено 450 Jira issue. Середня velocity команди становила 28 story points, а рівень затримок через scope creep – 22%. Для валідації IT2-моделі було залучено трьох експертів, оцінки яких мали відхилення близько 15%, що обґрунтовує застосування FOU.

Таблиця 3

Порівняння Type-1 та IT2-моделей

Показник	Type-1 FIS	IT2 FIS	Зміна
Точність прогнозу	92%	94%	+2%
Velocity після корекції	28 pts	36 pts	+28%
Час планування	100%	58%	-42%
Стійкість до шуму	0.86	0.99	+15%
Виконання в строк	72%	94%	+22%

Результати демонструють, що Interval Type-2 модель є більш стійкою до невизначеності та надає точніші управлінські орієнтири.

Приклад розрахунку:

Для одного зі спринтів були зафіксовані такі значення:

$$CP = 0.82, \quad RL = 0.92, \quad RR = 0.62, \quad CQ = 0.55. \tag{11}$$

На основі Type-1 FIS отримано $FOU \pm 10$:

$$OEE_{T1} = 0.45. \tag{12}$$

Після застосування IT2-моделі з FOU результат набув інтервальної форми:

$$OEE_{IT2} = [0.41, 0.49], \quad OEE_{crisp} = 0.45. \tag{13}$$

Незмінність центрального значення при одночасному розширенні інтервалу невизначеності свідчить про те, що модель адекватно відображає як саму оцінку, так і її надійність.

Управлінська інтерпретація результатів:

Практична цінність запропонованого підходу полягає в тому, що він дає змогу оцінювати не лише рівень операційної ефективності, а й ступінь впевненості в цій оцінці. Якщо інтервал IT2 є широким, це означає, що ситуація в проєкті характеризується підвищеною невизначеністю, а отже потребує додаткового моніторингу. Якщо ж значення є низьким, але стабільним, менеджер може однозначно інтерпретувати наявність проблеми та прийняти коригувальні рішення.

Таблиця 4

Інтерпретація рівнів OEE

Діапазон OEE	Інтерпретація	Рекомендована дія
0.00–0.40	Низька ефективність	Негайне коригування плану
0.41–0.60	Середньо-низька	Посилити контроль ризиків
0.61–0.75	Середня	Оптимізувати ресурси
0.76–0.90	Висока	Масштабувати підхід
0.91–1.00	Дуже висока	Підтримувати поточну модель

Таким чином, модель може бути використана як інструмент підтримки управлінських рішень у реальному часі, зокрема в межах Agile-процесів, де швидкість і точність реакції є критично важливими.

3. Результати і обговорення. Отримані результати свідчать про доцільність застосування нечіткої логіки для оцінювання операційної ефективності управління IT-проєктами в умовах невизначеності. Порівняння Type-1 Mamdani FIS та Interval Type-2 FIS показало, що розширена модель точніше відображає особливості реального проєктного середовища, оскільки враховує не лише значення вхідних параметрів, а й ступінь невизначеності експертних оцінок. Це пояснюється тим, що в Agile-проєктах дані є динамічними, а комунікаційні, ресурсні та ризикові чинники часто мають нечіткий характер, який складно адекватно описати детермінованими методами.

Перевага запропонованого підходу полягає в тому, що він дає змогу отримати не лише інтегральне значення оцінки операційної ефективності, а й інтервал її можливих значень. На відміну від класичних Type-1 моделей, де результат подається як одне чітке число, Interval Type-2 підхід дозволяє одночасно оцінювати сам показник і ступінь впевненості в ньому. Це є особливо важливим для управлінської практики, оскільки дає змогу розрізняти стабільні ситуації та сценарії з підвищеною невизначеністю, які потребують додаткового контролю або коригування.

ISSN 2786-5460 (Print), ISSN 2786-5479 (Online)

Порівняно з традиційними підходами, такими як EVM або CPM, запропонована модель має кращі можливості для роботи з нечіткими даними та експертними розбіжностями. На відміну від цих детермінованих методів, що передбачають фіксовані вхідні параметри, нечітка модель дозволяє врахувати змінність умов виконання проєкту й адаптувати оцінку до реального стану процесу. Саме це забезпечує її вищу придатність для Agile-середовищ, де управлінські рішення часто приймаються в умовах неповної або суперечливої інформації.

Результати, отримані на основі Jira-кейсу, підтверджують, що IT2-модель є більш стійкою до шуму в даних і до розбіжностей між експертами. Це пояснюється використанням footprint of uncertainty, який розширює область можливих значень функцій належності та робить модель менш чутливою до випадкових коливань вхідної інформації. Завдяки цьому модель може застосовуватися не лише за умов повної та стабільної інформації, а й у реальних проєктних середовищах, де частина даних є неповною, неоднозначною або змінюється в процесі виконання спринту.

Важливою особливістю запропонованого рішення є інтеграція з Jira через автоматизований workflow, що забезпечує практичну придатність моделі для майже реального часу. Це означає, що оцінювання операційної ефективності може виконуватися не постфактум, а в процесі реалізації проєкту, що суттєво підвищує цінність моделі для менеджера. У порівнянні з підходами, які ґрунтуються лише на періодичному ручному аналізі звітів, запропоноване рішення дозволяє оперативніше виявляти відхилення, пов'язані з ресурсним навантаженням, ризиками чи проблемами комунікації.

Разом із тим, дослідження має певні обмеження. По-перше, модель була перевірена на обмеженому наборі даних одного IT-проєкту, тому її узагальнюваність потребує додаткової перевірки на ширшій вибірці. По-друге, значення функцій належності та межі невизначеності задавалися на основі експертних припущень, що може впливати на відтворюваність результатів у інших організаційних контекстах. По-третє, інтеграція з Jira робить модель залежною від якості заповнення проєктних даних, а отже, за суттєвих прогалин у системі обліку точність оцінювання може знижуватися.

Недолік дослідження також полягає в тому, що модель орієнтована переважно на оцінювання поточного стану операційної ефективності, а не на багатокритеріальну оптимізацію рішень у масштабі всього життєвого циклу проєкту. Крім того, використання фіксованої структури правил нечіткого висновування обмежує гнучкість моделі в дуже нестандартних або швидко змінних середовищах.

Подальший розвиток дослідження доцільно спрямувати на розширення моделі до багатокритеріального нечіткого оптимізаційного підходу, інтеграцію з іншими джерелами проєктних даних та адаптивне налаштування функцій належності на основі накопичених історичних спостережень. Саме в цьому напрямі можна підвищити універсальність моделі, оскільки це дозволить краще враховувати специфіку різних типів IT-проєктів, організаційних структур і рівнів невизначеності.

4. Висновки

1. У дослідженні розроблено гібридну модель оцінювання операційної ефективності IT-проєктів на основі поєднання Type-1 Mamdani FIS та Interval Type-2 Fuzzy Logic. Отриманий результат полягає в тому, що модель формалізує вплив критичності шляху, ресурсного навантаження, рівня ризиків і якості комунікації на інтегральну оцінку ефективності. Її відмінною рисою є здатність одночасно працювати з чіткими значеннями та інтервалами невизначеності, що забезпечує кращу придатність до реальних Agile-проєктів у порівнянні з детермінованими підходами.

2. Використання трикутних нечітких множин і бази правил нечіткого висновування забезпечило коректну інтерпретацію експертних оцінок та їхню формалізацію в обчислювальній моделі. Розширення до Interval Type-2 Fuzzy Logic дозволило врахувати розбіжності між експертами й шум у даних, що підвищило робастність оцінювання. Цей результат пояснюється введенням footprint of uncertainty, завдяки якому модель стала менш чутливою до коливань вхідної інформації та придатнішою для ситуацій із частково неповними або суперечливими даними.

3. Практична перевірка на Jira-кейсі підтвердила ефективність запропонованого підходу. Точність прогнозу досягла 94%, velocity зросла на 28%, а час планування скоротився на 42% порівняно з базовим варіантом. Вища надійність IT2-моделі порівняно з Type-1 підходом показала, що запропоноване рішення краще працює в умовах змінності, динаміки та проєктної невизначеності. Це свідчить про практичну доцільність використання моделі як інструменту підтримки управлінських рішень.

4. Запропонований підхід створює методологічне підґрунтя для формалізованого, аналітично керованого управління IT-проєктами, особливо в Agile-середовищах. Його перевага полягає в можливості оцінювати не лише рівень ефективності, а й ступінь впевненості в цій оцінці, що є важливим для своєчасного виявлення ризиків, ресурсних дисбалансів і проблем у комунікації. Таким чином, модель частково закриває виявлену в розділі 1 проблему відсутності інтегрованого робастного підходу до оцінювання операційної ефективності IT-проєктів.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення моделі за рахунок включення додаткових факторів, що впливають на ефективність IT-проєктів, зокрема рівня завантаження окремих учасників команди, стабільності вимог, інтенсивності міжкомандних залежностей і історії попередніх відхилень. Це дозволить точніше описувати складні управлінські сценарії та підвищити узагальнюваність моделі.

Перспективним напрямом є адаптивне налаштування membership functions на основі історичних даних конкретної організації. Такий підхід дасть змогу зменшити залежність від разових експертних оцінок і підвищити точність моделі в межах окремого домену. Окремо варто дослідити можливість автоматичного формування нечітких правил із використанням алгоритмів машинного навчання.

Ще одним напрямом розвитку є інтеграція моделі з потоковими даними з Jira, Slack та інших систем управління роботою в режимі реального часу. Це дасть змогу використовувати її не лише для оцінювання, а й для динамічного моніторингу та формування рекомендацій щодо перерозподілу ресурсів, перегляду пріоритетів або зміни плану виконання.

Крім того, перспективним є поєднання нечіткої логіки з нейромережевими моделями, методами багатокритеріальної оптимізації та агентними системами підтримки рішень. Це розширить аналітичний потенціал моделі та створить основу для прогнозування й оптимізації управлінських сценаріїв у складних IT-проєктах.

Конфлікт інтересів. Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в даній статті.

Фінансування. Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних. Рукопис не має пов'язаних даних.

Використання засобів штучного інтелекту. У процесі підготовки рукопису було використано інструменти штучного інтелекту для мовного редагування, структуризації тексту, уточнення наукових формулювань і стилістичної адаптації окремих розділів статті. ШІ застосовувався переважно під час роботи над розділами, що стосуються вступу, методів, обговорення результатів і висновків, з метою покращення логіки викладу, узгодженості термінології та відповідності тексту вимогам наукового стилю. Автори перевіряли всі згенеровані або відредаговані фрагменти шляхом ручного наукового рецензування, зіставлення з вихідними даними дослідження, перевірки коректності термінів, формул і висновків, а також шляхом остаточного авторського редагування. Використання ШІ не вплинуло на наукову інтерпретацію результатів і не замінило авторське дослідження; усі висновки, наведені в роботі, залишаються результатом авторського аналізу та верифікації.

Внесок авторів. Анастасія Возниця: концептуалізація, методологія, дослідження, формальний аналіз, написання оригінального чернеткового варіанту; Аліна Савченко: нагляд, валідація, написання й рецензування та редагування.

References:

1. A new approach to Z-number based earned value management. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences.* 2023. DOI: 10.1080/16168658.2022.2156250.

2. A practical design of interval type-2 fuzzy logic systems with applications. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics.* 2024. Retrieved from: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2024.2395426.

3. A synergistic approach to software effort estimation using fuzzy logic and machine learning. *Journal of Intelligent Systems in Engineering and Management.* 2025. Retrieved from: https://jisem-journal.com/index.php/journal/article/view/2968.

4. Analysis of the limitations of the earned value management method and new approaches to its improvement. *MSES Journal.* 2025. Retrieved from: https://msesj.com/index.php/mses/article/view/312.

5. Applying the Fuzzy PERT method in project management: a real-life case study. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering.* 2023. Retrieved from: https://www.ijcesen.com/index.php/ijcesen/article/view/199.

6. Buckley, J. J. (2005). Fuzzy probability and statistics. Berlin: Springer, DOI: 10.1007/978-3-540-27622-5.

7. Desse, E. M., Mengesha, W. J. (2024). Predicting construction cost under uncertainty using grey-fuzzy earned value analysis. *Heliyon.* Vol. 10, No. 6. e27662. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e27662.

8. Figueroa-García, J. C., Hernández-Pérez, G., Ramos-Cuesta, J. S. (2023). Uncertain project network analysis with fuzzy–PERT and interval type-2 fuzzy activity durations. Heliyon. Vol. 9, No. 4. e14833. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14833.

9. Fuzzy-Graphical Evaluation and Review Technique for Scheduling Under Uncertainty. Korean Society for Chemical Engineering. 2024. Retrieved from: https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2024KSJCE.28.2573P/abstract.

10. Improving accuracy of software development effort estimation using use case points and fuzzy logic. *Journal of Electrical and Systems Engineering.* 2025. Retrieved from: https://journal.unm.ac.id/index.php/JESSI/article/view/9488/5892.

11. Liang Q., Mendel J. M. (2000). Interval type-2 fuzzy logic systems: theory and design. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems.* Vol. 8, No. 5. P. 535–550. DOI: 10.1109/91.873578.
12. Mamdani, E. H., Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies.* Vol. 7, No. 1. P. 1–13. DOI: 10.1016/S0020-7373(75)80002-2.
13. Mendel, J. M., John, R. I. (2002). Type-2 fuzzy sets made simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems.* Vol. 10, No. 2. P. 117–127. DOI: 10.1109/91.995115.
14. Developing fuzzy-based earned value analysis model for estimating project time and cost under uncertainty. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences.* 2023. https://doi.org/10.1080/16168658.2024.2348210.
15. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control. Vol. 8, No. 3. P. 338–353. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.

Відомості про авторів

Англ.	Укр.
Anastasiia Voznytsia Postgraduate Student at the Department of Computer Information Technologies, State University "Kyiv Aviation Institute" 4556116@stud.kai.edu.ua ORCID: 0009-0004-3767-7354	Возниця Анастасія Сергіївна аспірант кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, Державний університет «Київський авіаційний інститут» 4556116@stud.kai.edu.ua ORCID: 0009-0004-3767-7354
Alina Savchenko Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Information Technologies, State University "Kyiv Aviation Institute" alina.savchenko@npp.kai.edu.ua ORCID: 0000-0001-8205-8852	Савченко Аліна Станіславівна доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, Державний університет «Київський авіаційний інститут» alina.savchenko@npp.kai.edu.ua ORCID: 0000-0001-8205-8852

Дата надходження статті: 02.04.2026
Дата надходження виправленої версії статті: 09.06.2026
Дата прийняття статті: 25.06.2026
Дата публікації статті: 26.10.2026