Данченко О.Б., Ткаченко Ф.В.
Черкаський державний технологічний університет

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У ІНЖИНІРИНГОВИХ КОМПАНІЯХ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

The paper proposes a nine-step method for assessing business-process risks in engineering companies, built on a Mamdani-type fuzzy inference system and integrated into the conceptual anti-risk management model "7S+R". The method transforms expert probability–impact estimates into linguistic variables, applies Gaussian and generalized Gaussian membership functions, executes fuzzification, a 16-rule inference base, centroid defuzzification, and optional neuro-fuzzy learning to obtain an integral risk indicator R. The approach enables reproducible, adaptive quantitative risk ranking under conditions of qualitative and incomplete data typical of engineering business processes.*

Метод оцінювання ризиків бізнес-процесів на основі теорії нечіткої логіки – це формалізована покрокова процедура, що реалізує систему нечіткого логічного виведення типу Мамдані з метою отримання кількісного інтегрального показника рівня ризику $R*$ для кожного ризику з реєстру, сформованого в межах концептуальної моделі 7S+R [1]. Доцільність застосування систем нечіткого виведення типу Мамдані саме для задач оцінки ризиків підтверджена в дослідженнях [2, 3], де показана їх здатність адекватно обробляти якісні лінгвістичні судження та невизначену інформацію в умовах браку статистичних показників.

Необхідність розроблення методу зумовлена низкою обставин. По-перше, традиційні ймовірнісні підходи не здатні коректно обробляти якісні, суб’єктивні та лінгвістично виражені оцінки ризиків, які є нормою для управлінських, кадрових і культурних ризиків у моделі 7S+R. По-друге, метод забезпечує формалізацію та відтворюваність результатів: два однакові набори експертних оцінок завжди дають одне й те саме значення $R*$ за незмінної бази правил. По-третє, метод допускає автоматичне налаштування параметрів через процедуру навчання нейронечіткої мережі, що підвищує точність оцінок з накопиченням практичного досвіду. Доцільність поєднання нечіткої логіки з моделлю McKinsey 7S для оцінювання організаційних характеристик

підприємства продемонстровано в роботі [4], що підтверджує концептуальну сумісність підходів, реалізованих у запропонованому методі.

Метод будується на чотирьох послідовних функціональних блоках математичної моделі: фазифікація → логічне виведення → дефазифікація → (опційно) навчання нейронечіткої мережі. У практичній реалізації ці блоки розгортаються в дев'ять кроків, що охоплюють підготовку вхідних показників, налаштування функцій належності, побудову бази правил, виконання нечіткого виведення та інтерпретацію результатів.

Крок 1. Формування реєстру ризиків та визначення вхідних даних. Формується впорядкований перелік ризиків, кожному з яких зіставляються числові оцінки ймовірності виникнення P та величини впливу I у безрозмірній шкалі $[0; 1]$. Значення визначаються методом структурованих експертних суджень (SEJ) [11] із залученням не менше ніж трьох незалежних експертів як середньозважена оцінка. Результат – масив пар $(P_n; I_n)$ для n ризиків реєстру.

Крок 2. Визначення лінгвістичних змінних та їх терм-множин. Числові змінні замінюються лінгвістичними: вхідні «імовірність виникнення ризику» (P) і «вплив на результати бізнес-процесів» (I), вихідна «рівень ризику» (R), – усі в діапазоні [0; 1]. Для кожної встановлюється ідентична терм-множина з чотирьох термів – оптимальний баланс між деталізацією та складністю бази правил.

Крок 3. Параметризація функцій належності. Кожному терму призначається функція $\mu(x)$: гауссівська – для проміжних термів («помірний/а», «високий/а»); узагальнена гауссівська – для крайніх термів («низький/а», «дуже високий/а»). Умова коректної параметризації – перекриття сусідніх термів на рівні $\mu = 0{,}5$, що гарантує активацію не менше ніж двох правил для будь-якого вхідного значення.

Крок 4. Фазифікація вхідних значень. Числові значення $(p_o; i_o)$ перетворюються в ступені належності до кожного з чотирьох термів вхідних змінних. Результат – матриця ступенів належності розмірністю 2×4, що є основою для активації правил.

Крок 5. Формування бази нечітких правил. Для двох входів із чотирма термами повна база налічує $4 \times 4 = 16$ правил, побудованих за принципом «неприйняття катастроф»: вплив (Impact) має більшу вагу, ніж імовірність (Probability), тому рідкісна, але катастрофічна подія класифікується

як «високий ризик» і є вищою за симетричну комбінацію «дуже висока ймовірність – низький вплив», яка дає лише «помірний рівень».

Крок 6. Нечітке логічне виведення (алгоритм Мамдані) передбачає три операції: агрегацію антецедентів – обчислення сили правила α_k T-нормою мінімуму; активацію висновків методом відсікання (clipping) на рівні α_k; агрегацію результатів – об'єднання усічених функцій належності S-нормою максимуму в результуючу множину $\mu agg(z)$.

Крок 7. Дефазифікація. Множина μagg(z) перетворюється на скалярне значення R^* методом центроїда (Centre of Gravity) – координати центру ваги фігури, обмеженої графіком $\mu agg(z)$ та віссю абсцис.

Крок 8. Перевірка достовірності, ранжування та інтерпретація ризиків. R^* верифікується щодо попереднього зонування за матрицею ймовірності та впливу; за суттєвих розходжень кроки 1–3 виконуються повторно з уточненими показниками. Ризики ранжуються за спаданням R^* з лінгвістичною характеристикою: «дуже високий» – $R^* \in (0,75;\ 1,0]$; «високий» – $R^* \in (0,50;\ 0,75]$; «помірний» – $R^* \in (0,25;\ 0,50]$; «низький» – $R^* \in [0;\ 0,25]$.

Крок 9. Навчання нейронечіткої мережі (опційний крок) реалізується за наявності навчальної вибірки: чотиришарова мережа прямого поширення ітеративно виконує прямий прохід, сигмоїдальну активацію, обчислення похибки та зворотний прохід з оновленням параметрів $\{m_i^k,\ \sigma_i^k,\ z_k\}$ до досягнення умови зупинки, що підвищує точність моделі для конкретної компанії.

Отже, запропонований дев'ятикроковий метод забезпечує повний цикл переходу від якісних експертних суджень до кількісного, відтворюваного й адаптивного інтегрального показника рівня ризику R^*, що є безпосередньою основою для пріоритизації ризиків у межах концептуальної моделі протиризикового управління бізнес-процесами 7S+R в інжинірингових компаніях.

Література

1. Ткаченко, Ф. (2025). Концептуальна модель протиризикового управління бізнес-процесами в інжинірингових компаніях «7S+R». Вісник Львівського національного університету природокористування.

Серія «Агроінженерні дослідження», (29), 242–248. DOI: https://doi.org/10.32718/agroengineering2025.29.242-248

2. Izquierdo, S., Izquierdo, L. R. (2017). Mamdani fuzzy systems for modelling and simulation: A critical assessment. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 21(3), 2, 2018. URL: https://www.jasss.org/21/3/2.html

3. Pokorádi, L. (2002). Fuzzy logic-based risk assessment. Academic and Applied Research in Military Science, 1(1), 63–73. URL: https://www.researchgate.net/publication/267548987_Fuzzy_logicbased_risk_assessment

3. Shiri, S., Anvari, A., & Soltani, H. (2014). An assessment of readiness factors for implementing ERP based on agility (extension of McKinsey 7S model). International Journal of Management, Accounting and Economics, 1(3), 229–246. URL: https://www.academia.edu/download/82277767/download.pdf