

В. О. СТРОЄВА

кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри математичного моделювання та системного аналізу
Дніпровський державний технічний університет
ORCID: 0000-0001-8890-9056

О. С. ТАРАСЮК

аспірант
Дніпровський державний технічний університет
ORCID: 0009-0009-1704-7749

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ

У роботі проведено дослідження питань оптимізації технічних задач проектування, що є ключовим елементом сучасної інженерної діяльності та сприяє підвищенню ефективності реалізації проектних рішень, особливо в умовах невизначеності, багатовекторного впливу внутрішніх і зовнішніх чинників, а також динамічно змінюваного середовища. Встановлено, що технологічні особливості управління та необхідність інтелектуального супроводу технічних задач проектування зумовлюють неможливість повторення процесів і формують унікальні, невідтворювані умови для реалізації проектів. У статті висвітлено основні аспекти оптимізації, що включають детальний аналіз сучасних підходів, методів та інструментів, які застосовуються у цій сфері, їх сильні сторони та недоліки, а також можливості для вдосконалення процесів проектування. Особливу увагу приділено таким методологіям, як інтервально-ймовірнісні алгоритми, нечітко-логічні моделі та генетичні алгоритми, які довели свою ефективність у роботі з неточними та неповними даними, дозволяючи знижувати вплив похибок вимірювань на кінцеві результати. Обґрунтовано доцільність використання поліметодичного підходу для вирішення задач оптимізації, який враховує складність технічних систем, їх нелінійний характер, а також взаємозалежність багатьох факторів, що визначають умови реалізації проектів. В межах дослідження розроблено практичні алгоритми та методологічні рекомендації, зокрема алгоритм підтримки ухвалення рішень, що стосуються передачі частини задач стороннім виконавцям. Запропоновано підходи, які охоплюють техніко-економічні, інформаційні та управлінські аспекти, що забезпечує підвищення ефективності процесів оптимізації. На основі отриманих результатів запропоновано шляхи вдосконалення процесів оптимізації технічних задач проектування, які забезпечують більшу гнучкість і стійкість інженерних рішень, відповідаючи викликам сучасного швидкозмінного середовища. Отримані результати є значущими не лише з теоретичної точки зору, але й мають практичну цінність для подальшого використання в інженерній практиці.

Ключові слова: технічні задачі, проектування, нечітко-логічні методи, логіка процесів, математичний алгоритм, лінгвістична оцінка.

V. O. STROIEVA

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor at the Department of Mathematical Modeling
and System Analysis
Dniprovsky State Technical University
ORCID: 0000-0001-8890-9056

O. S. TARASIUK

Postgraduate Student
Dniprovsky State Technical University
ORCID: 0009-0009-1704-7749

STUDY OF TECHNICAL DESIGN OPTIMIZATION PROBLEMS

The article studies the issues of optimization of technical design tasks, which is a key element of modern engineering activities and contributes to increasing the efficiency of implementing design solutions, especially in conditions of uncertainty, multi-vector influence of internal and external factors, as well as a dynamically changing environment. It is established that the technological features of management and the need for intellectual support of technical design tasks make it impossible to repeat processes and form unique, unrepeatable conditions for the implementation of projects. The article highlights the main aspects of optimization, including a detailed analysis of modern approaches, methods and tools used in this area, their strengths and weaknesses, as well as opportunities for improving design processes. Particular

attention is paid to such methodologies as interval-probabilistic algorithms, fuzzy-logical models and genetic algorithms, which have proven their effectiveness in working with inaccurate and incomplete data, allowing to reduce the impact of measurement errors on the final results. The author substantiates the feasibility of using a multi-method approach to solving optimization problems, which takes into account the complexity of technical systems, their nonlinear nature, as well as the interdependence of many factors that determine the conditions for project implementation. Within the framework of the study, practical algorithms and methodological recommendations have been developed, in particular, an algorithm for supporting decision-making regarding the transfer of part of the tasks to third-party performers. Approaches have been proposed that cover technical and economic, informational and managerial aspects, which ensures increased efficiency of optimization processes. Based on the results obtained, ways of improving the optimization processes of technical design tasks have been proposed, which provide greater flexibility and stability of engineering solutions, meeting the challenges of the modern rapidly changing environment. The results obtained are significant not only from a theoretical point of view, but also have practical value for further use in engineering practice.

Key words: technical tasks, design, fuzzy-logical methods, process logic, mathematical algorithm, linguistic evaluation.

Постановка проблеми

В умовах стрімкого розвитку технологій та підвищення вимог до інженерних рішень питання оптимізації технічних задач проектування набуває особливого значення. Сучасні проекти, незалежно від галузі застосування, потребують високого рівня точності, мінімізації витрат ресурсів та забезпечення відповідності екологічним стандартам. Це вимагає впровадження нових підходів до розв'язання складних технічних задач, які виникають у процесі проектування. Дослідження у цій сфері є актуальними через необхідність підвищення ефективності розробки інноваційних технічних систем, скорочення часу на їх створення та оптимального використання матеріальних і людських ресурсів. Особливого значення набуває розробка методів і алгоритмів, які дозволяють враховувати багатофакторність умов проектування, включаючи економічні, технічні та соціальні аспекти. Отже, дослідження, спрямовані на вирішення проблем оптимізації технічних задач проектування, є не лише науково значущими, але й практично корисними, оскільки дозволяють розробляти більш ефективні, економічно вигідні та екологічно безпечні рішення.

Аналіз основних досліджень і публікацій

Одним із найбільш поширених напрямів досліджень є використання інтервально-ймовірнісних алгоритмів, які пропонуються як ефективний інструмент для роботи з неповними даними. У ряді робіт зазначається, що ці алгоритми дозволяють враховувати неточності та похибки вхідних даних, розширюючи можливості традиційних методів ймовірнісного аналізу [1]. Інший напрям досліджень – нечітко-логічні моделі, які знаходять широке застосування в умовах, коли формалізація технічних задач ускладнена через наявність якісної та невизначеної інформації. Як відзначається у [2], нечітка логіка дозволяє ефективно моделювати складні системи за допомогою лінгвістичних змінних, що сприяє прийняттю більш гнучких управлінських рішень у процесі проектування.

Особливе місце займає використання генетичних алгоритмів для оптимізації, які базуються на принципах природного відбору та є ефективними для пошуку глобального оптимуму у складних багатовимірних задачах. У роботі [3], генетичні алгоритми розглядаються як потужний інструмент для розв'язання задач, які включають багатокритеріальні обмеження та вимагають швидкого досягнення результатів.

Значна кількість досліджень присвячена інтеграції різних методів у межах поліметодичних підходів. Наприклад, у дослідженні від Адібфар А., Костін А., Ісса Р. [4], акцентується увага на перевагах комбінування генетичних алгоритмів із нечіткою логікою та інтервально-ймовірнісними моделями, що дозволяє враховувати складність і багатовекторність впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на процес проектування. Не менш важливим є розгляд питань підтримки ухвалення рішень у проектуванні, зокрема щодо передачі частини задач стороннім виконавцям. У роботі [5], представлено алгоритми оцінки доцільності аутсорсингу проектних робіт, що враховують не лише техніко-економічні показники, але й аспекти інформаційної безпеки та рівень кваліфікації виконавців. Аналіз демонструє, що проблема оптимізації технічних задач проектування має багатогранний характер і потребує комплексного підходу, що об'єднує сучасні математичні методи, інформаційні технології та управлінські рішення.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є виявлення та обґрунтування методів та підходів до оптимізації технічних задач проектування в умовах багатофакторності, невизначеності та динамічності.

Основними цілями дослідження є необхідність дослідити перспективні методи і підходи до оптимізації, включаючи інтервально-ймовірнісні алгоритми, нечітко-логічні моделі та генетичні алгоритми, для визначення їх ефективності в умовах недостатньо повних і невизначених даних; розробити комплексний поліметодичний підхід, який враховуватиме складність та багатовимірність впливу як зовнішніх, так і внутрішніх факторів на процеси вирішення технічних задач проектування; сформулювати алгоритм ухвалення рішень, що базуватиметься на специфіці технічних задач проектування і сприятиме оцінці доцільності передачі окремих проектних завдань.

Викладення основного матеріалу дослідження

В аспекті формування методичного базису дослідження ми виходимо з положення про те, що технологічна особливість управління і інтелектуальна потреба супроводу технічних задач проектування обумовлює неможливість повторення явищ, що відбуваються в процесі їх розв'язання. Окрім умови оптимізації технічних задач проектування, визначальним фактором зовнішнього середовища, під впливом якого перебуває велика кількість врахованих і неврахованих чинників, стає динаміка, що формує невідтворювані умови в яких реалізується проєкт. Усе це говорить про необхідність поліметодичного розгляду проблем оптимізації технічних задач проектування.

Для глибшого розуміння проблематики оптимізації технічних задач проектування та визначення шляхів їх ефективного вирішення необхідно провести аналіз сучасних підходів, інструментів і методів, які застосовуються у цій сфері. Основна частина роботи присвячена дослідженню ключових аспектів оптимізації, зокрема аналізу існуючих методологій, їх переваг та недоліків, а також можливостей удосконалення процесів проектування.

Визначальною проблемою є складність математичного моделювання та алгоритмізації процесів оптимізації, оскільки технічні задачі проектування, як правило, є багатофакторними і нелінійними. У багатьох випадках класичні методи оптимізації, такі як методи лінійного програмування або градієнтні методи, не можуть забезпечити належну ефективність через складність розв'язуваних задач, особливо коли вони включають стохастичні елементи або динамічні зміни параметрів, що і визначає доцільність необхідності використання сучасних підходів, таких як інтервально-ймовірнісні алгоритми, генетичні алгоритми, нечітко-логічні методи, нейронні мережі, які мають здатність працювати з великими обсягами даних і враховувати складні залежності.

Ще однією значущою проблемою є недостатність даних або їх низька якість, що ускладнює точність розрахунків і впровадження оптимізаційних рішень. У проектуванні часто стикаються з невизначеністю вихідних даних або неповнотою інформації про зовнішні умови, які можуть впливати на ефективність реалізації проєкту [6]. Дослідимо можливості впровадження ряду нескладних і практично цінних методичних підходів щодо оптимізації внутрішніх технічних задач в інженерній справі.

1. *Інтервально-ймовірнісний метод.* Згідно з цим підходом спостереження представляються не у вигляді чисел, а у вигляді інтервалів, що відображають діапазон можливих значень спостережуваних величин в середовищі оптимізації технічних задач проектування. Так, ми можемо відзначити, що в результаті спостереження стають відомими не елементи вибірки x_j , а величини $y_j = x_j + \varepsilon_j$, де, ε_j – похибки вимірів, досліджень технічних задач проектування. Тоді статистичним розподілом, якому відповідають вказані спостереження, є не $f(x)$, а $f(y)$, відмінність між якими виражається як: $N_f(x) = \sup |f(y) - f(x)|$ (супремум береться за безліччю можливих значень вектору похибок. Використання цієї методики за рахунок розширення ймовірнісних величин на інтервально-ймовірнісний дозволяє ослабити допущення класичного ймовірнісно-статистичного підходу, що робить можливим його обґрунтоване застосування в умовах недостатньої кількості однорідних спостережень в інженерному проектуванні та оптимізації внутрішніх технічних задач [7].

2. *Нечітко-логічні методи оптимізації технічних задач проектування.* Використання цього методу і практичних компонентів найбільш доцільне у випадках великої складності досліджуваного об'єкту, його нелінійності, складності формалізації і в ситуаціях, коли джерела інформації інтерпретуються якісно, неточно або невизначено. Основою нечітко-логічних методів оптимізації технічних задач проектування є поняття нечіткої великої кількості. Під нечіткою множиною A на універсальній множині $X = \{x\}$ розуміється сукупність пар $A = \{\mu_A(x), x\}$, де $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$ – функція приналежності нечіткої множини. Тоді значення цієї функції приналежності $\mu_A(x)$ для елементу $x \in X$ називається мірою приналежності. Однією з центральних проблем практичного застосування нечітких множин в задачах оптимізації є побудова функцій приналежності. Серед таких методів виділяють прямі (завдання функцій приналежності графіком, таблицею або формулою), а також непрямі (статистичний метод, метод субтрактивної кластеризації, метод на основі експертних оцінок, параметричні методи тощо) [8]. Важливою складовою нечітко-логічного підходу є поняття лінгвістичної змінної, що дозволяє формалізувати нечіткі поняття звичайної мови. Під лінгвістичною змінною розуміється набір:

$$\beta = \{\beta, T, X, G, M\}, \quad (1)$$

де: β – її найменування; T – множина її значень (термів), що є найменуваннями нечітких змінних $\{\alpha, X_\alpha, A\}$, де α – ім'я нечіткої змінної; A – нечітка множина на області визначення X_α ; G – синтаксична процедура, що дозволяє генерувати нові терми; M – семантична процедура, що дозволяє перетворити генеровані синтаксичною процедурою терми на нечітку змінну.

При цьому лінгвістичні змінні можуть бути як числовими (тоді її терм-множину складають нечіткі числа), так і нечисловими, що дозволяє відображати і фізичну (кількісну), і лінгвістичну (якісну) невизначеність.

3. *Оцінка альтернатив оптимізації при адитивності показників оцінки.* Нехай задано n альтернатив $A_i, i = \overline{1, n}$, які слід оцінити за t показниками $x_j, j = \overline{1, t}$ відносна важливість кожного з яких задана ваговим коефіцієнтом,

$w_j, j = \overline{1, m}$. У випадку, коли вказані показники є адитивними, то зважена оцінка i -ої альтернативи розв'язання задачі обчислюється за формулою:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_j R_{ij}}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (2)$$

де: R_{ij} – оцінка i -ої альтернативи за j -м показником. У разі, якщо оцінки нормовані, то використовується наступна формула:

$$R_i = \sum_{j=1}^m w_j R_{ij} \quad (3)$$

Оскільки оцінки є нечіткими числами, то в умовах задач оптимізації для множення і підсумовування вимагається реалізовувати вказані формули відповідно до одного із способів нечіткої арифметики і м'яких обчислень, зокрема інтервального методу або на основі принципу нечіткого узагальнення [9]. У разі, якщо оцінки виражені у вигляді трикутних або трапецеїдальних чисел, результатом підсумовування алгебри будуть також трикутні і трапецеїдальні числа відповідно, а результатом множення і ділення в загальному випадку стає нечітке число довільного виду. Після обчислення зважених оцінок R_i вимагається порівняти альтернативи A_i на їх основі. Найкращою визнається альтернатива, що зайняла перше місце у впорядкованій множині.

4. *Нечітка логіка процесів*. Система нечіткого виводу для оптимізації технічних задач проектування – це «процес отримання нечітких висновків про необхідне управління об'єктом на основі нечітких умов або передумов, що є інформацією про поточний стан об'єкту». У своїй основі системи нечіткого виводу мають базу знань, яка формується фахівцями предметної області і призначена для формалізації їх емпіричних знань у вигляді сукупності нечітких когнітивних оптимізацій наступного виду [10]:

$$(i): Q, P, A \rightarrow B, S, F, N \quad (4)$$

де (i) – ім'я нечіткої продукції; Q – сфера її застосування; P – умова застосовності її ядра; $A \rightarrow B$ – ядро нечіткої продукції, в якому: 1) A – умова ядра (антецедент), 2) B – укладення ядра (консеквент), 3) \rightarrow – позначення логічної операції імплікації; S – метод визначення кількісного значення ступеня істинності утворення ядра; F – коефіцієнт упевненості нечіткої продукції; N – постумови виконання проекту.

Ядро $A \rightarrow B$ є центральним компонентом системи нечіткого виводу і представляється зазвичай у вигляді нечіткого предикативного правила виду: P_i . Якщо $x \in A_i$, тоді $y \in B_i$, де x – вхідна змінна, y – змінна виводу, A і B – функції приналежності, визначені відповідно на x та y . Процедура логічного висновку зазвичай складається з наступних основних етапів: введення нечіткості (фазифікація), агрегація ступеня істинності передумов правил, активізація висновків правил, акумуляція активізованих висновків правил і приведення до чіткості (дефазифікація). При цьому компоненти нечітких моделей можуть мати різну реалізацію і вибір конкретної реалізації одного з компонентів часто визначає вибір і усіх інших компонентів.

5. *Алгоритм підтримки ухвалення рішення про передачу технічних задач проектування стороннім виконавцям (системний аутсорсинг)*. У разі технологічної і витратної необхідності, має бути вибрано пріоритетні напрями виконання технічних задач проектування «вибіркового аутсорсингу» або «комплексного аутсорсингу», при цьому актуальним стає завдання оцінки доцільності передачі конкретних проектних робіт стороннім виконавцям. Цю проблему ми зводимо до рішення задачі багатокритерійної бінарної класифікації: залежно від результатів оцінки задачі проектування, за множиною показників вимагається віднести її до одного з двох класів, тобто виконати відображення виду $f(R): R \rightarrow Y \in \{C_1, C_2\}$, де C_1 – клас робіт, для яких застосування аутсорсингу є недоцільним, C_2 – клас задач проектування, для виконання яких доцільно залучити сторонніх виконавців. Пропонується наступна сукупність показників такої класифікації:

- Вплив роботи на інформаційну безпеку замовника проекту (z_1):
 - величина втрат через недоступність пов'язаних з роботою проектних сервісів ($z_{1,1}$), тис. грн.;
 - величина втрат через порушення цілісності даних за допомогою використання пов'язаних з роботою сервісів ($z_{1,2}$), тис. грн.;
 - величина втрат від порушення конфіденційності даних через використання пов'язаних з роботою проектних сервісів ($z_{1,3}$), тис. грн.;
- Техніко-економічні характеристики проектних робіт (z_2) [11]:
 - термін виконання роботи власними силами ($z_{2,1}$), днів;
 - термін виконання роботи із залученням аутсорсингу ($z_{2,2}$), днів;
 - вартість виконання роботи власними силами ($z_{2,3}$), тис. грн.;
 - вартість виконання роботи із залученням аутсорсингу ($z_{2,4}$), тис. грн.;
 - число дій ($z_{2,5}$), що блокуються завданням, од.

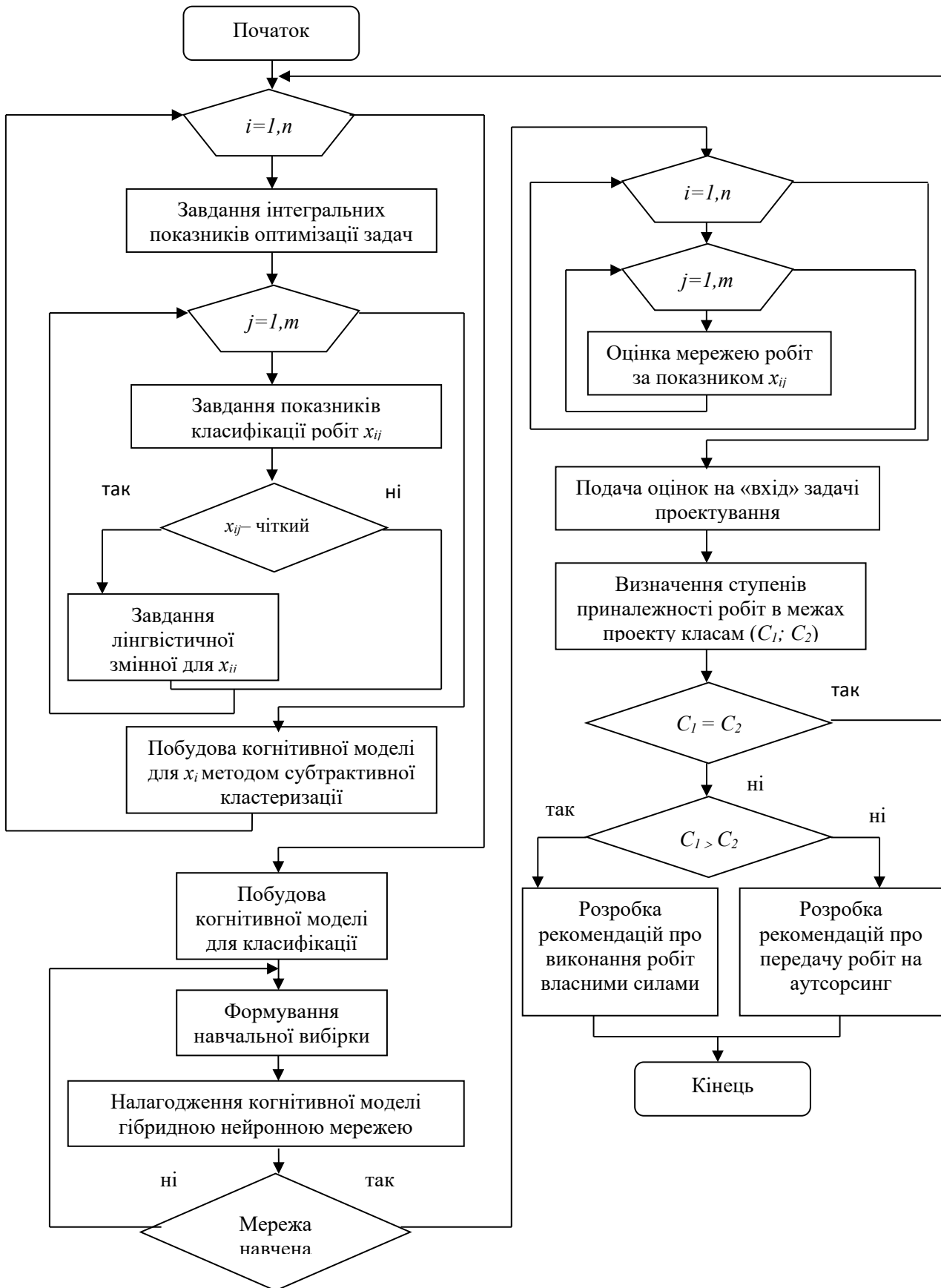


Рис. 1. Блок-схема алгоритму оцінки варіантів оптимізації і виконання технічних задач проектування

3. Рейтинг потенційного стороннього виконавця проектних робіт (z_3).
4. Готовність головного підрядника виконувати роботи за проектом самостійно (z_4):
 - кількість аналогічних робіт, вже виконаних персоналом підрядника ($z_{4,1}$), од.;
 - частка співробітників з вченим ступенем у штаті ($z_{4,2}$), од.;
 - частка витрат на R&D у виручці ($z_{4,3}$), %;
 - середня вартість раніше виконаних проектів ($z_{4,4}$), тис. грн.;
 - кількість аналогічних виконаних проектів ($z_{4,5}$), од.;
 - відповідність процесів підрозділів політиці та стандартам інформаційної безпеки ($z_{4,6}$), лінгвістична оцінка;
 - забезпеченість необхідною інфраструктурою і інструментальними засобами ($z_{4,7}$), лінгвістична оцінка;
 - рівень володіння необхідними технологіями ($z_{4,8}$), лінгвістична оцінка;
 - рівень кваліфікації інженерної команди ($z_{4,9}$), лінгвістична оцінка;
 - актуальність використовуваного технологічного і інструментального стека ($z_{4,10}$), лінгвістична оцінка;
 - поширеність практики ревізій і аудиту результатів ($z_{4,11}$), лінгвістична оцінка;
 - стабільність застосування автоматизованих інструментів забезпечення якості виконання проектних робіт ($z_{4,12}$), лінгвістична оцінка [3].

Застосування запропонованої сукупності показників припускає, що потенційний сторонній виконавець вже обраний. Так пропонується алгоритм оцінки доцільності передачі конкретних робіт в межах проекту на аутсорсинг, блок-схема якого представлена на рисунку 1.

Сучасна практика технічних задач проектування використовує велику кількість алгоритмів класифікації композитних проектних робіт, проте більшість з них мають істотний недолік – вони працюють за принципом «чорного ящика», тобто спроби явної інтерпретації закономірностей, що призводять до віднесення об'єкту до одного з класів, і це призводить до певних складнощів [12]. Такого недоліку позбавлені класифікатори, засновані на когнітивних моделях представлення знань, в основі яких лежить база правил. З урахуванням того, що роботи в межах окремих задач проектування, зазвичай, є унікальними і специфічними, можна зробити висновок про те, що «точна» оцінка показників $z_{1,1} - z_{1,3}$, $z_{2,1} - z_{2,4}$, представляється складною, а використання ймовірнісних методів для виключення невизначеності ускладнюється недоліком релевантної статичної інформації для визначення та застосування конкретного закону розподілу. В свою чергу, показники $z_{4,6} - z_{4,12}$ є якісними і не мають фізичної шкали виміру.

Висновки

У ході дослідження були проаналізовані методологічні підходи до оптимізації технічних задач, зокрема, значна увага була приділена таким методам, як інтервально-ймовірнісні підходи, нечітко-логічні моделі та алгоритми підтримки ухвалення рішень, які надають можливість враховувати невизначеність вихідних даних і мінімізувати вплив похибок вимірювань на точність отриманих результатів. Проведений аналіз переваг і недоліків сучасних методів оптимізації, таких як генетичні алгоритми, методи нечіткої логіки та принципи нечіткої арифметики, продемонстрував, що їх інтеграція з традиційними підходами сприяє підвищенню адаптивності процесів проектування до змінних умов зовнішнього середовища. Доведено необхідність застосування поліметодичного підходу у вирішенні задач оптимізації, який враховує багатовимірність і складність сучасних інженерних систем, а також їх взаємозалежність і вплив різноманітних факторів. Отримані результати підтверджують, що комбінування кількох методів дозволяє досягти більш ефективного балансу між технічними, економічними та екологічними аспектами, що є ключовими критеріями оцінки проектів.

У результаті дослідження було розроблено алгоритми та методологічні рекомендації, спрямовані на підвищення ефективності процесів проектування шляхом інтеграції сучасних інформаційних технологій і когнітивних підходів. Зокрема, запропоновано алгоритм підтримки ухвалення рішень, що стосується передачі частини задач проектування стороннім виконавцям, із використанням когнітивних моделей і нечітких оцінок. Також були визначені шляхи вдосконалення процесів оптимізації технічних задач, що включають впровадження систем нечіткої логіки, застосування нейронних мереж для моделювання та аналізу складних систем, а також використання сучасних хмарних платформ для спільного виконання проектних робіт. Це закладає основи для створення більш гнучких і адаптивних механізмів управління технічними проектами в умовах динамічних змін і складних викликів сучасності.

Список використаної літератури

1. Marzouk M., Abubakr A. Decisions up port for to wercranese lection with building information models and genetic algorithms. *Automation in Construction*. 2016. no 61. p. 1–15.
2. Yashchenko V.A. Neural-like growing network sin the development of general intelligence. Neural-like element (P.I) *Mathematical machines and systems*. 2022. No 4. P. 15–36.
3. Безклубенко І. С., Гетун Г. В., Баліна О. І., Буценко Ю. П. Дослідження властивостей множини ефективних значень критеріїв в задачі оптимізації інженерної мережі. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 51, с. 81–86. DOI: 10.32347/2412-9933.2022.51.81-86

4. Adibfar A., Costin A., Issa R.R.A. Design Copyright in Architecture, Engineering, and Construction Industry: Review of History, Pitfalls, and Lessons Learned. *Journal of legal affairs and dispute resolution in engineering and construction*. 2020. 12. 04520032. DOI:10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000421.
5. Chernyshev D., Ryzhakov D., Dikiy O., Khomenko O., Petrukha S. Innovative Methodology and Management Tools of Commercial Real Estate. *International Journal on Emerging Technologies*. 2020. № 11 (5). P. 283–289.
6. Pajak K., Omelyanenko V., Makedon V., Shevchenko V., Ovcharenko I. Raising the level of financial security of the enterprise based on the basic risks differentiation. *Journal of Security and Sustainability Issues*. 2020. No 10(1). pp. 115–130. [https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1\(9\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1(9)).
7. Смолич Д.В. Інноваційні методи управління проектами. *Економічний форум*. 2019. № 1. С. 50–53. 10.36910/6765-2308-8559-2019-4-8.
8. Prasad V., Khare R., Palod N. A new multi-objective evolutionary algorithm for the optimization of water distribution networks. *Water Science & Technology Water Supply*. 2022.No 22(6). P. 8972–8987. DOI: 10.2166/ws.2022.413.
9. Yi W., Chi H-L., Wang S. Mathematical programming models for construction site layout problems. *Automation in Construction*. 2018. Vol. 85. P. 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.031>.
10. Scibilia A., Pedrocchi N., Fortuna L. Human Control Model Estimation in Physical Human–Machine Interaction: A Survey. *Sensors*. 2022. № 22(5). P. 1732. <https://doi.org/10.3390/s22051732>.
11. Xu M., Nie X., Li H., Cheng J., Mei Z. Smart construction sites: A promising approach to improving on site HSE management performance. *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 49. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104007>
12. Македон В., Михайленко О., Красніков П. Управління розробкою та реалізацією національних і міжнародних проектів у сфері відновлювальної енергетики. *Підприємництво та інновації*. 2023. №(26). с. 5–13. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/26.1>.

References

1. Marzouk, M., & Abubakr, A. (2016). Decision support for tower crane selection with building information models and genetic algorithms. *Automation in Construction*, 61, 1–15.
2. Yashchenko, V.A. (2022). Neural-like growing networks in the development of general intelligence. Neural-like element (P. I) Mathematical machines and systems, N4, 15–36.
3. Bezklubenko, I. S., Getun, G. V., Balina, O. I., Butsenko, Yu. P. (2022). Study of the properties of the set of effective criteria values in the engineering network optimization problem. Management of the development of complex systems, No. 51, 81–86. DOI: 10.32347/2412-9933.2022.51.81-86
4. Adibfar, A., Costin, A., Issa, R.R.A. (2020). Design Copyright in Architecture, Engineering, and Construction Industry: Review of History, Pitfalls, and Lessons Learned. *Journal of legal affairs and dispute resolution in engineering and construction*, 12, 04520032. DOI:10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000421.
5. Chernyshev, D., Ryzhakov, D., Dikiy, O., Khomenko, O., Petrukha, S. (2020). Innovative Methodology and Management Tools of Commercial Real Estate. *International Journal on Emerging Technologies*, 11 (5), 283–289.
6. Pajak, K., Omelyanenko, V., Makedon, V., Shevchenko, V., Ovcharenko, I. (2020). Raising the level of financial security of the enterprise based on the basic risks differentiation. *Journal of Security and Sustainability Issues*, № 10(1), 115–130. [https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1\(9\)](https://doi.org/10.9770/jssi.2020.10.1(9)).
7. Smolych, D.V. (2019). Innovative project management methods. *Economic forum*. 1. 50–53. 10.36910/6765-2308-8559-2019-4-8.
8. Prasad, V., Khare, R., Palod, N. (2022). A new multi-objective evolutionary algorithm for the optimization of water distribution networks. *Water Science & Technology Water Supply*, 22(6), 8972–8987. DOI: 10.2166/ws.2022.413
9. Yi, W., Chi, H-L., Wang, S. (2018). Mathematical programming models for construction site layout problems. *Automation in Construction*, Vol. 85, 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.031>.
10. Scibilia, A., Pedrocchi, N., Fortuna, L. (2022). Human Control Model Estimation in Physical Human–Machine Interaction: A Survey. *Sensors*, 22(5), 1732. <https://doi.org/10.3390/s22051732>.
11. Xu, M., Nie, X., Li, H., Cheng, J., Mei, Z. (2022). Smart construction sites: A promising approach to improving onsite HSE management performance. *Journal of Building Engineering*, Vol. 49. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104007>
12. Makedon, V., Mykhaylenko, O., Krasnikov, P. (2023). Management of development and implementation of national and international projects in the field of renewable energy. *Entrepreneurship and innovation*, (26), 5–13. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/26.1>.