isu-conference.com

ISU
INTERNATIONAL SCIENTIFIC UNITY

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS




7th International Scientific and Practical Conference

# GLOBAL TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCE

November 11-13, 2026
Stockholm, Sweden

INTERNATIONAL SCIENTIFIC UNITY

7th International Scientific and Practical Conference

# «Global Trends in the Development of Information Technology and Science»

Collection of Scientific Papers

November 11-13, 2026,
Stockholm, Sweden

UDC 001(08)

Global Trends in the Development of Information Technology and Science: Collection of Scientific Papers with Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference. International Scientific Unity. Stockholm, Sweden. November 11-13, 2026. 1087 p.

ISBN 979-8-89704-992-9 (series)
DOI 10.70286/ISU-11.11.2026

The conference is included in the Academic Research Index ReserchBib International catalog of scientific conferences.

The materials of the collection are presented in the author's edition and printed in the original language. The authors of the published materials bear full responsibility for the authenticity of the given facts, proper names, geographical names, quotations, economic and statistical data, industry terminology, and other information.

The materials of the conference are publicly available under the terms of the CC BY-NC 4.0 International license.

**ISBN 979-8-89704-992-9**

ISU
INTERNATIONAL SCIENTIFIC UNITY

© Participants of the conference, 2026
© Collection of Scientific Papers "International Scientific Unity", 2026
Official site: https://isu-conference.com/

**Ivakhnenko Y., Shapovalova S.**
STUDY OF AI-GENERATED IMAGE DETECTION METHODS BASED ON CLASSIFIER TRAINING…… 355

**Беседовський О., Бойко Є.**
ФОРМАЛІЗАЦІЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ ТРАНСФОРМЕРНИХ МОДЕЛЕЙ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ…… 358

**Наконечна І.В., Турченко І.В.**
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ФОТОГРАФІЧНОГО КОНТЕНТУ…… 364

**Kryliev M., Shapovalova S.**
APPLICATION OF THE RESTORMER NEURAL NETWORK FOR DIGITAL IMAGE RESTORATION…… 367

**Грязова С.Я., Шестаков В.І.**
ЦИФРОВІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІНСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ВІЙСЬКОВОЇ ЧАСТИНИ……... 371

**Lohunov O., Havrysh A., Nikolaiev D., Kolochavyn M., Luchyk S.**
PHISHING DISGUISED AS GOVERNMENT SERVICES IN UKRAINE: HOW ATTACKERS EXPLOIT TRUST IN DIGITAL PUBLIC SERVICES…….. 374

**Подскребко О.С., Шаповал В.В., Булгакова А.В., Комiссаров В.Р.**
ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАТИВНОГО ПРОСТОРУ ОЗНАК ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИННОГО НАВЧАННЯ З ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ…. 377

**Кузьмич Б.А., Турченко І.В.**
ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУ ТА ЯКОСТІ НАВІГАЦІЇ АГЕНТА В УМОВАХ ПРОСТОРОВИХ ОБМЕЖЕНЬ…… 383

**Uzakbay A.B., Khassenova Z.T.**
EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE IMPACT OF LARGE LANGUAGE MODELS ON RESOURCE CONSUMPTION AND DEVELOPMENT TIME IN SOFTWARE ENGINEERING…… 387

**Устенко С.А.**
ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У ПОКАЗНИКАХ ВИКОНАННЯ СПРИНТІВ ІТ-ПРОЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО АВТОЕНКОДЕРА…….. 399

International Conference on Machine Learning. – PMLR, 2021. – Vol. 139. – P. 8748–8763. – URL: https://proceedings.mlr.press/v139/radford21a.html.
4. Frank J. et al. Leveraging Frequency Analysis for Deep Fake Image Recognition / J. Frank, T. Eisenhofer, L. Schönherr, A. Fischer, D. Kolossa, T. Holz // Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning. – PMLR, 2020. – Vol. 119. – P. 3247–3258. – URL: https://proceedings.mlr.press/v119/frank20a.html.
5. Geurts P., Ernst D., Wehenkel L. Extremely Randomized Trees / P. Geurts, D. Ernst, L. Wehenkel // Machine Learning. – 2006. – Vol. 63. – P. 3–42. – DOI: 10.1007/s10994-006-6226-1.

# ФОРМАЛІЗАЦІЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ ТРАНСФОРМЕРНИХ МОДЕЛЕЙ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ

**Беседовський Олексій**
к.е.н., доцент
**Бойко Єгор**
здобувач вищої освіти магістерського рівня
Кафедра інформаційних систем
Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця, Україна

Анотація. Розглянуто проблему вибору трансформерних моделей для локальних питально-відповідних систем з урахуванням суперечливих вимог до якості відповідей та обчислювальних ресурсів. Проаналізовано можливості застосування методів багатокритеріального прийняття рішень AHP, TOPSIS, аналізу Парето та простого адитивного зважування (SAW). Обґрунтовано доцільність комбінованого підходу, що передбачає попередню перевірку ресурсної допустимості моделей, виключення домінованих альтернатив та їх подальше ранжування за ваговими пріоритетами. Формалізовано систему критеріїв, умови допустимості альтернатив та інтегральну оцінку моделі. Основним результатом роботи є адаптована процедура багатокритеріального вибору, призначена для врахування якості виділення відповідей, часу інференсу та використання оперативної пам'яті. Визначено методологічні обмеження процедури й напрями подальшої експериментальної перевірки.

Ключові слова: трансформерні моделі, питально-відповідні системи, Extractive QA, багатокритеріальний вибір, аналіз Парето, SAW, обчислювальні обмеження, локальне розгортання.

Зростання обсягів неструктурованих текстових даних зумовлює необхідність удосконалення засобів їх автоматизованого опрацювання. Значна частина корпоративної інформації представлена у вигляді документів, звітів, інструкцій та інших текстових матеріалів, отримання відомостей із яких за

допомогою традиційного пошуку може потребувати додаткового аналізу знайдених документів. Одним із напрямів розв'язання цієї проблеми є використання питально-відповідних систем (Question Answering, QA), призначених для автоматизованого формування відповідей на запитання користувача природною мовою.

Для опрацювання документів із заздалегідь визначеним текстовим вмістом перспективними є системи витягування відповідей (Extractive Question Answering), які визначають фрагмент вихідного контексту, що відповідає поставленому запитанню. Такий підхід дозволяє пов'язати сформовану відповідь із конкретною частиною документа, хоча не виключає можливості помилкового вибору текстового фрагмента.

Розвиток моделей Extractive QA значною мірою пов'язаний із використанням трансформерних архітектур. У праці J. Devlin та співавторів запропоновано модель BERT, здатну формувати двоспрямовані контекстні представлення тексту [1]. Подальші дослідження були спрямовані як на підвищення результативності моделей, зокрема шляхом удосконалення попереднього навчання в RoBERTa [2], так і на зменшення обчислювальних витрат. Прикладом останнього напряму є DistilBERT, у якій використано дистиляцію знань для отримання компактнішої архітектури [3].

Водночас переваги певної моделі за показниками якості на стандартизованому наборі даних не означають її безумовної придатності для конкретної інформаційної системи. Впровадження трансформерних моделей на локальному обладнанні потребує врахування обсягу оперативної пам'яті, часу інференсу та допустимої затримки відповіді. Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах обмежених обчислювальних ресурсів, коли використання спеціалізованих графічних прискорювачів не передбачається.

Таким чином, вибір трансформерної моделі доцільно розглядати як задачу прийняття рішення за декількома критеріями, частина яких потребує максимізації, а інша — мінімізації. Орієнтація лише на один показник, наприклад F1-score або швидкість інференсу, може призвести до вибору альтернативи, яка не відповідає іншим важливим вимогам системи.

Метою роботи є обґрунтування та формалізація адаптованої процедури багатокритеріального вибору трансформерних моделей для локальних питально-відповідних систем з урахуванням якості відповідей, часу інференсу та використання оперативної пам'яті.

Для досягнення поставленої мети здійснено порівняльний аналіз методів багатокритеріального прийняття рішень, визначено систему критеріїв оцінювання моделей та сформовано математичну постановку задачі вибору за наявності жорстких ресурсних обмежень.

Теоретичною основою розв'язання поставленої задачі є методи багатокритеріального прийняття рішень (Multi-Criteria Decision Making, MCDM). У науковій літературі представлено різні підходи, які відрізняються способами визначення переваг, оброблення критеріїв та ранжування альтернатив.

Метод аналізу ієрархій (Analytic Hierarchy Process, AHP), запропонований T. Saaty [4], передбачає використання попарних порівнянь для визначення відносної важливості критеріїв та оцінювання альтернатив. Його перевагою є можливість урахування експертних суджень і якісних характеристик. Проте для задачі, у якій основні характеристики моделей визначаються кількісними вимірюваннями, повноцінна процедура попарних порівнянь може ускладнювати процес вибору.

Метод TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), розглянутий C.-L. Hwang та K. Yoon [5], ґрунтується на визначенні відносної близькості альтернатив до позитивно-ідеального та негативно-ідеального рішень. Цей підхід забезпечує комплексне ранжування за декількома критеріями, однак результати залежать від обраної процедури нормалізації та способу вимірювання відстаней.

Аналіз Парето базується на принципі домінування альтернатив. Модель вважається домінованою, якщо існує інша модель, яка не поступається їй за всіма критеріями та перевершує хоча б за одним. Множина недомінованих альтернатив утворює фронт Парето. Такий підхід дозволяє визначати ефективні компромісні рішення без попереднього задання вагових коефіцієнтів [6]. Його обмеженням є відсутність однозначного правила вибору єдиної альтернативи, якщо до множини Парето входить декілька моделей.

Метод простого адитивного зважування (Simple Additive Weighting, SAW) передбачає нормалізацію критеріїв та обчислення інтегральної оцінки альтернативи у вигляді зваженої суми її характеристик [5]. Перевагами цього підходу є прозорість математичної моделі та можливість безпосереднього врахування пріоритетів конкретної інформаційної системи. Водночас метод допускає компенсацію між критеріями, що потребує попереднього відокремлення обов'язкових технічних вимог від критеріїв порівняльного оцінювання.

Узагальнену характеристику розглянутих методів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика методів багатокритеріального вибору

| Метод | Принцип оцінювання | Основна перевага | Особливість застосування |
|---|---|---|---|
| AHP | Попарні порівняння | Урахування експертних переваг | Потребує формування та перевірки узгодженості суджень |
| TOPSIS | Близькість до ідеального й антиідеального рішень | Комплексне ранжування альтернатив | Залежить від нормалізації та метрики відстані |
| Аналіз Парето | Визначення недомінованих альтернатив | Не потребує ваг для виключення домінованих рішень | Не встановлює єдиного найкращого варіанта |
| SAW | Зважена сума нормалізованих критеріїв | Прозорість розрахунків та інтерпретації | Передбачає компенсацію між критеріями |

Джерело: систематизовано на основі [4–6].

Для розв'язання задачі вибору трансформерної моделі пропонується поєднати аналіз Парето та метод SAW, доповнивши їх попередньою перевіркою жорстких ресурсних обмежень. Така процедура дозволяє послідовно розв'язувати три завдання: визначати технічну придатність моделей, виключати домінovані альтернативи та ранжувати допустимі варіанти відповідно до встановлених пріоритетів.

Нехай множина моделей-кандидатів визначається як $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$, де $n$ — кількість альтернатив, що розглядаються.

Для кожної моделі $m_i$ задається вектор характеристик:

$$x_i = (EM_i, F1_i, T_i, R_i), \quad (1)$$

де $EM_i$ — значення метрики Exact Match; $F1_i$ — токенна метрика F1-score; $T_i$ — час інференсу; $R_i$ — показник використання оперативної пам'яті.

Метрики Exact Match та F1-score характеризують якість виділення відповідей і традиційно використовуються для оцінювання систем Extractive QA, зокрема на наборі даних SQuAD [7]. Час інференсу відображає тривалість оброблення запиту, а використання оперативної пам'яті характеризує одну з основних ресурсних вимог моделі.

На першому етапі здійснюється перевірка допустимості альтернатив відповідно до встановлених ресурсних обмежень. Позначимо максимально допустимий час інференсу як $T_{max}$, а допустиме використання оперативної пам'яті — як $R_{max}$. Тоді множина допустимих моделей визначається співвідношенням:

$$M_{доп} = \{m_i \in M : T_i \leq T_{max} \wedge R_i \leq R_{max}\}. \quad (2)$$

Залежно від вимог інформаційної системи перелік обов'язкових умов може бути доповнений мінімально допустимими показниками якості відповідей. Якщо множина $M_{доп}$ є порожньою, необхідно зафіксувати відсутність альтернатив, що відповідають заданим умовам, або переглянути початкові вимоги.

На другому етапі серед допустимих моделей визначається множина Парето-оптимальних альтернатив. При цьому значення EM та F1 підлягають максимізації, а показники часу інференсу та використання оперативної пам'яті — мінімізації.

Формально множину недомінованих моделей можна подати так:

$$P = \{m \in M_{доп} : \text{не існує } m' \in M_{доп}, \text{що домінує над } m\}. \quad (3)$$

Застосування аналізу Парето дозволяє виключити моделі, які не мають переваг за жодним із критеріїв порівняно з іншими допустимими альтернативами. Водночас до множини P можуть входити моделі, кожна з яких має власні переваги за окремими характеристиками.

На третьому етапі для ранжування недомінованих моделей використовується метод SAW. Оскільки критерії вимірюються в різних одиницях, перед визначенням інтегральної оцінки необхідно здійснити їх нормалізацію.

Після приведення показників до єдиної безрозмірної шкали інтегральна оцінка моделі визначається за формулою:

$$S_i = \Sigma(j = 1 \dots k)\, w_j \cdot z_{ij}, \quad (4)$$

де $S_i$ – інтегральна оцінка; $z_{ij}$ – нормалізоване значення j-го критерію для і-ї моделі; $w_j$ – ваговий коефіцієнт відповідного критерію; k – кількість критеріїв.

Для вагових коефіцієнтів установлюються умови:

$$w_j \geq 0; \Sigma(j = 1 \dots k)\, w_j = 1. \quad (5)$$

Під час нормалізації значення критеріїв повинні бути приведені до однакового напряму переваги, за якого більше значення відповідає кращій характеристиці моделі. Конкретний спосіб нормалізації має визначатися відповідно до властивостей критеріїв та заданих умов вибору.

Вагові коефіцієнти відображають пріоритети користувача або вимоги конкретного бізнес-процесу. За необхідності забезпечення мінімальної затримки відповіді більшого значення може набувати час інференсу, тоді як у задачах, де пріоритетною є якість виділення інформації, більша вага надається метрикам EM та F1.

Водночас слід ураховувати, що EM та F1 характеризують взаємопов'язані аспекти якості відповідей. Їх спільне включення до інтегральної оцінки потребує обґрунтування ваг, щоб уникнути надмірного впливу одного типу характеристик на підсумковий рейтинг.

Важливою особливістю методу SAW є залежність результатів від співвідношення вагових коефіцієнтів. Тому запропоновану процедуру доцільно доповнити аналізом чутливості, який передбачає перевірку зміни ранжування моделей за різних пріоритетів критеріїв. Це дозволить визначати не лише рекомендовану модель для конкретного сценарію, але й умови, за яких така рекомендація залишається стійкою.

Отже, основним результатом роботи є формалізація адаптованої процедури багатокритеріального вибору трансформерних моделей для локальних систем Extractive QA. Її особливістю є послідовне розмежування жорстких ресурсних обмежень, критеріїв Парето-домінування та вагових пріоритетів під час підсумкового ранжування.

Зазначена процедура не передбачає створення нового математичного методу, а ґрунтується на адаптації відомих підходів багатокритеріального прийняття рішень до завдання вибору трансформерної моделі за показниками якості відповідей та обчислювальних витрат.

Практична реалізація запропонованої процедури потребує отримання зіставних характеристик моделей. Зокрема, оцінювання якості відповідей повинно здійснюватися на однакових наборах даних, а вимірювання часу інференсу та використання оперативної пам'яті — за узгоджених апаратних і програмних умов. Необхідно враховувати вплив довжини вхідного контексту, параметрів запуску та особливостей вимірювання ресурсоспоживання.

Подальше дослідження передбачає експериментальне оцінювання моделей BERT, RoBERTa та DistilBERT за визначеними критеріями на стандартизованому наборі SQuAD та тематичних текстових даних. Отримані

характеристики можуть бути використані для перевірки роботи запропонованої процедури, аналізу чутливості до вагових коефіцієнтів і визначення раціональних альтернатив для різних сценаріїв локального розгортання.

Висновки. У роботі проаналізовано методи багатокритеріального прийняття рішень та обґрунтовано доцільність їх застосування для вибору трансформерних моделей у локальних питально-відповідних системах. Показано, що комплексне оцінювання має враховувати не лише якість виділення відповідей, але й часові та ресурсні характеристики моделей.

Запропоновано адаптовану процедуру багатокритеріального вибору, що поєднує перевірку жорстких ресурсних обмежень, визначення множини Парето-оптимальних альтернатив і подальше ранжування моделей за методом SAW. Формалізовано систему критеріїв, умови допустимості моделей та математичний принцип формування інтегральної оцінки.

Запропонований підхід створює методологічну основу для обґрунтованого вибору трансформерної моделі відповідно до ресурсних можливостей і пріоритетів конкретної інформаційної системи. Його практична результативність потребує подальшої експериментальної перевірки з використанням зіставних показників якості, часу інференсу та споживання оперативної пам'яті.

## Список використаних джерел

1. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. Minneapolis : Association for Computational Linguistics, 2019. Vol. 1. P. 4171–4186. DOI: https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423.
2. Liu Y., Ott M., Goyal N. et al. RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach. arXiv. 2019. arXiv:1907.11692. URL: https://arxiv.org/abs/1907.11692 (дата звернення: 04.11.2026).
3. Sanh V., Debut L., Chaumond J., Wolf T. DistilBERT, a distilled version of BERT: smaller, faster, cheaper and lighter. arXiv. 2019. arXiv:1910.01108. URL: https://arxiv.org/abs/1910.01108 (дата звернення: 05.11.2026).
4. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York : McGraw-Hill, 1980. 287 p.
5. Hwang C.-L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. A State-of-the-Art Survey. Berlin ; Heidelberg : Springer, 1981. 269 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9.
6. Deb K. Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms. Chichester : John Wiley & Sons, 2001. 536 p.
7. Rajpurkar P., Zhang J., Lopyrev K., Liang P. SQuAD: 100,000+ Questions for Machine Comprehension of Text. Proceedings of the 2016 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Austin : Association for Computational Linguistics, 2016. P. 2383–2392. DOI: https://doi.org/10.18653/v1/D16-1264.

Collection of Scientific Papers
with Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference
**«Global Trends in the Development of Information Technology and Science»**
November 11-13, 2026
Stockholm, Sweden

Organizing committee may not agree with the authors' point of view.
Authors are responsible for the correctness of the papers' text.

Contact details of the organizing committee:
Sole Proprietor Viktoriia Tsiundyk
E-mail: info@isu-conference.com
URL: https://isu-conference.com/

Certificate of the subject of the publishing business: ДК №7980 of 03.11.2023.



ISU

INTERNATIONAL SCIENTIFIC UNITY