

**Ганна Вайганг**

кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

0000-0002-2082-2322

*weigang.ganna@nubip.edu.ua*

**Іван Корнілов**

Асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

0009-0009-5598-2690

*i.kornilov@nubip.edu.ua*

## ГІБРИДНА МОДЕЛЬ НЕЙРОННОГО ПОШУКУ: ПОЄДНАННЯ СЛОВНИКОВОГО ТА СЕМАНТИЧНОГО ПІДХОДІВ

**Анотація.** Публікація присвячена аналізу гібридної моделі нейронного пошуку, що поєднує лексичні та семантичні підходи до індексування й ранжування текстових документів. Обґрунтовується необхідність інтеграції класичних методів, таких як BM25, із сучасними нейронними моделями представлення тексту для підвищення повноти, стійкості та інтерпретованості результатів пошуку. Розглядаються типові архітектури гібридних систем, схеми злиття оцінок релевантності, каскадні та адаптивні підходи. Узагальнено результати досліджень, що демонструють переваги гібридизації над виключно лексичними або виключно семантичними моделями. Показано перспективи застосування гібридного пошуку в інформаційно-пошукових системах нового покоління, системах з доповненим відбором контенту (RAG) та доменно-специфічних сховищах знань.

**Ключові слова:** гібридний пошук; лексична модель; семантична модель; векторні подання; оцінка релевантності; злиття сигналів; доповнений пошук; BM25; RAG.

### 1. ВСТУП

Сучасні інформаційно-пошукові системи функціонують в умовах стрімкого зростання обсягів даних, варіативності форматів та підвищених вимог до точності, повноти та надійності результатів. Класичні словникові методи (TF-IDF, BM25) залишаються базовим стандартом завдяки ефективності, масштабованості та прозорості механізмів ранжування, однак вони обмежені чутливістю до синонімів, перефразувань та контекстних значень термів.

Нейронні семантичні моделі на основі трансформерів забезпечують контекстно-залежне представлення тексту та дозволяють враховувати латентні зв'язки між запитом і документами. Проте вони вимагають значних обчислювальних ресурсів, є чутливими до доменного зсуву та потребують спеціалізованого навчання і моніторингу якості [1,3]. У результаті актуальним стає перехід до гібридних архітектур, які поєднують переваги обох підходів.

**Мета публікації.** Узагальнити концепцію гібридної моделі нейронного пошуку, проаналізувати основні архітектурні рішення та методи злиття лексичних і семантичних сигналів, а також окреслити переваги, обмеження та перспективи практичного впровадження таких систем.

### 2. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Гібридна модель нейронного пошуку розглядається як композиція лексичного та семантичного модулів, які паралельно або каскадно генерують кандидати документів та спільно визначають підсумковий рейтинг. Лексичний модуль, як правило, реалізується на основі BM25 та інвертованих індексів, тоді як семантичний модуль використовує щільні або пізньо-інтерактивні подання (bi-encoder, ColBERTv2 та подібні) [1,3].

Типова архітектура включає: (1) попередню обробку та індексування колекції; (2) обчислення лексичних оцінок релевантності для великого підмножинного списку документів; (3) семантичний пошук або повторне ранжування для кандидатів; (4) модуль злиття результатів, що враховує обидва джерела сигналів. Такий підхід дозволяє поєднати високу точність роботи з ключовими термінами з можливістю виявлення релевантних документів, які не містять точних збігів із запитом (рис. 1).

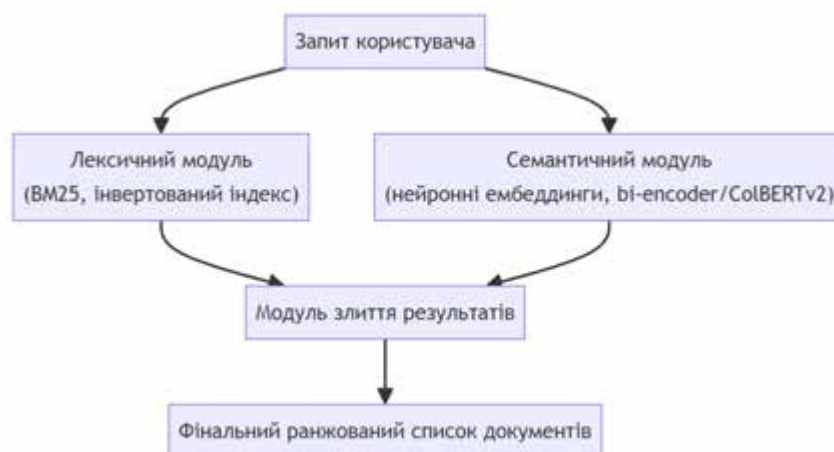


Рис. 1. Узагальнена архітектура гібридної моделі нейронного пошуку

Модуль злиття (fusion) є ключовим елементом гібридної моделі. Найпростішим підходом є лінійна комбінація нормалізованих оцінок релевантності лексичної та семантичної моделей з фіксованою вагою (рис. 2). Більш стійкі результати забезпечують рангові методи, зокрема Reciprocal Rank Fusion, що зменшує вплив різниці масштабів оцінок. У сучасних роботах також розглядаються адаптивні схеми, де внесок кожного модуля залежить від типу запиту: довжина, наявність рідкісних термів, доменність [2,4].

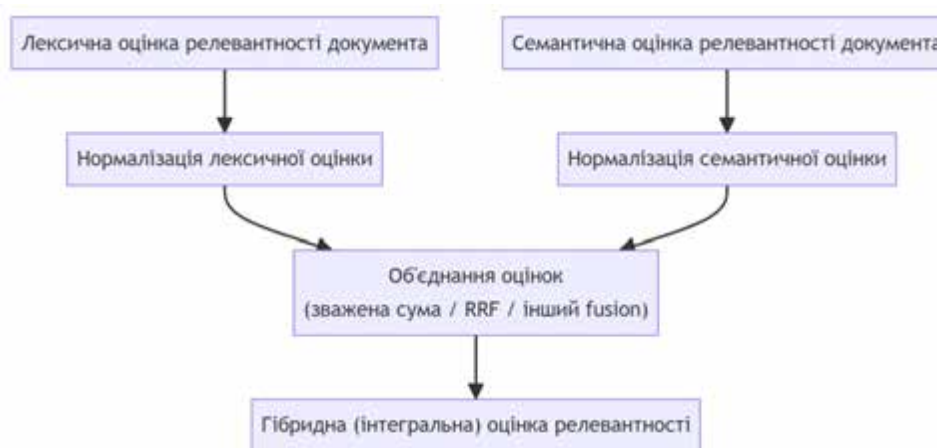


Рис. 2. Схема обчислення гібридної оцінки релевантності

Для узагальнення переваг гібридної моделі порівняємо основні характеристики лексичного, семантичного та гібридного підходів (табл. 1).

Таблиця 1

**Порівняння характеристик лексичного, семантичного та гібридного пошуку**

| Характеристика                                     | Лексичний пошук | Семантичний пошук               | Гібридний пошук                                     |
|----------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Обробка синонімів і перефразувань                  | Обмежена        | Висока                          | Висока, компенсується семантичним модулем           |
| Точність для точних термів, кодів, ідентифікаторів | Висока          | Середня / залежить від навчання | Зберігається завдяки лексичному компоненту          |
| Повнота (Recall)                                   | Середня         | Висока                          | Вища за окремі компоненти                           |
| Обчислювальні витрати                              | Низькі          | Високі                          | Середні (залежить від каскадної схеми)              |
| Інтерпретованість                                  | Висока          | Обмежена                        | Частково зберігається за рахунок лексичних сигналів |

Емпіричні дослідження демонструють, що гібридні стратегії забезпечують стабільне підвищення показників якості (nDCG, MAP, Recall) порівняно з окремими моделями, особливо для складних запитів та доменних колекцій [1–3]. Узагальнені ефекти наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Узагальнені ефекти застосування гібридних моделей пошуку**

| Аспект                               | Типовий ефект гібридних моделей                                                                       |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recall@k                             | Зростання на декілька відсоткових пунктів відносно кращого з компонентів                              |
| NDCG@10 / MAP                        | Покращення ранжування для довгих, семантично насичених і природномовних запитів                       |
| Стійкість до шуму та доменного зсуву | Зменшення ризику пропуску релевантних документів та покращення робастності завдяки поєднанню сигналів |
| Вартість запиту                      | Оптимізується каскадними схемами та адаптивним використанням нейронних компонентів                    |

Попри переваги, гібридні моделі ставлять низку інженерних та дослідницьких викликів. По-перше, складною є нормалізація оцінок та вибір параметрів злиття, оскільки розподіли лексичних і семантичних оцінок різні. По-друге, підтримка векторних індексів, оновлення векторних подань (embedding) та забезпечення прийнятної латентності вимагають оптимізованої інфраструктури, ефективних алгоритмів пошуку найближчих сусідів і каскадних стратегій [1,4].

Додатковим аспектом є інтерпретованість. У критичних застосуваннях (медицина, право) необхідне пояснення рішень системи. Тому рекомендується зберігати лексичні пояснення (ключові терміни, збіги, ваги) та метадані, а семантичні моделі використовувати як підсилюючий компонент. Практичні рекомендації включають поступове впровадження гібридних схем на базі вже існуючих лексичних індексів, A/B-тестування та постійний моніторинг якості.

### 3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Гібридна модель нейронного пошуку, що поєднує словникові та семантичні підходи, формує сучасний стандарт побудови ефективних інформаційно-пошукових систем. Вона забезпечує підвищення повноти, збереження чутливості до точних визначень, кращу стійкість до різномірних запитів і можливість поєднання інтерпретованих та латентних сигналів релевантності. Представлені в літературі

результати підтверджують переваги гібридних архітектур над моно-підходами як для відкритих, так і для спеціалізованих колекцій [1–3].

Перспективними напрямками подальших досліджень є: адаптивне та параметризоване злиття лексичних і семантичних оцінок релевантності; побудова єдиних гібридних представлень, що поєднують розріджені та щільні ознаки; оптимізація обчислювальних витрат за рахунок ефективних ANN-структур та підходів пізньої взаємодії запиту з документом; інтеграція багатомодальних даних; використання гібридних стратегій у системах з доповненим відбором контенту (RAG) для зменшення ризику "галюцинацій" генеративних моделей.

## **ПОСИЛАННЯ**

- [1] Lin S.-C., Lin J. A Dense Representation Framework for Lexical and Semantic Matching. *ACM Transactions on Information Systems*, 41(4), 2023. DOI: 10.1145/3582426.
- [2] Kuzi S., Zhang M., Li C., Bendersky M., Najork M. Leveraging Semantic and Lexical Matching to Improve the Recall of Document Retrieval Systems: A Hybrid Approach. <https://arxiv.org/abs/2010.01195>.
- [3] Santhanam K., Khattab O., Potts C., Zaharia M. ColBERTv2: Effective and Efficient Retrieval via Lightweight Late Interaction. *Proceedings of NAACL*, 2022. DOI: 10.18653/v1/2022.naacl-main.272
- [4] Kulkarni H., MacAvaney S., Goharian N., Frieder O. Lexically-Accelerated Dense Retrieval. *Proceedings of SIGIR*, 2023. DOI: 10.1145/3539618.3591715

MINISTRY OF EDUCATION  
AND SCIENCE OF UKRAINE

NATIONAL UNIVERSITY  
OF LIFE AND ENVIRONMENTAL  
SCIENCES OF UKRAINE

FACULTY OF INFORMATION  
TECHNOLOGY

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

## **PROCEEDINGS**

XIII International scientific  
and practical conference

**GLOBAL AND  
REGIONAL PROBLEMS OF  
INFORMATIZATION IN  
SOCIETY AND  
NATURE USING  
'2025**

13-14 November 2025

Kyiv, NULES of Ukraine

Kyiv 2025

## **МАТЕРІАЛИ**

XIII Міжнародної науково-  
практичної конференції

**ГЛОБАЛЬНІ ТА  
РЕГІОНАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ  
ІНФОРМАТИЗАЦІЇ В  
СУСПІЛЬСТВІ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ  
'2025**

13-14 листопада 2025 року

Київ, НУБіП України

Київ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

## **МАТЕРІАЛИ**

ХІІІ Міжнародної науково-практичної конференції

# **ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ В СУСПІЛЬСТВІ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ '2025**

13-14 листопада 2025 року

Київ, НУБіП України

Київ 2025

УДК 004

Рекомендовано до друку вченою радою факультету інформаційних технологій Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 4 від 18.12.2025).

Укладач: д.т.н., доцент Шкарупило В.В.

Збірник матеріалів XIII Міжнародної науково-практичної конференції "Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні '2025", 13–14 листопада 2025 року, НУБіП України, Київ. – К.: НУБіП України, 2025. – 206 с.

Відповідальність за зміст публікацій несуть автори.

© Національний університет біоресурсів  
і природокористування України, 2025