

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПІДБОРУ НАУКОВИХ РЕЦЕНЗЕНТІВ: ОГЛЯД ЗАДАЧ І МЕТОДІВ

¹Вінницький національний технічний університет;

²Донецький національний університет імені Василя Стуса

Останнім часом все гостріше постає проблема якісного та своєчасного наукового рецензування. Наукові рецензенти здійснюють експертизу рукописів статей, доповідей конференцій, монографій, дисертацій, запитів на гранти тощо. Наукових рецензентів призначають переважно вручну в умовах дефіциту часу. За великих обсягів рецензування досягти високої якості експертизи вкрай важко. На сьогодні збільшилася кількість досліджень щодо автоматизації підбору рецензентів. При цьому формальна звірка спеціальностей рецензентів та заявок або посимвольне порівняння ключових слів не завжди дозволяють сформулювати якісні призначення. В цій роботі здійснено огляд стану сучасних досліджень щодо методів автоматичного призначення наукових рецензентів. Виділяють 3 етапи процесу підбору рецензентів: 1) формування бази рецензентів та структурування інформації про рецензентів та заявки; 2) визначення коефіцієнта схожості між заявкою та рецензентом; 3) розподіл заявок за рецензентами для максимізації агрегованої схожості та комплексного покриття тематики за усіма призначеннями. Розглянуто основні варіанти задачі підбору як одного рецензента, так і колективу рецензентів. Проаналізовано методи для оцінювання відповідності рецензента заявці на основі статистичного аналізу тексту, тематичного моделювання та глибокого навчання. Проаналізовано можливі критерії оптимальності в задачі розподілу рецензентів по заявках, а також обмеження щодо рівня відповідності рецензентів заявці, рівня комплексності покриття тематики, справедливих умов експертизи, завантаженості рецензентів та інші. Задача оптимального призначення рецензентів є NP-повною, тому для її розв'язання використовують різноманітні евристичні та мета-евристичні алгоритми. В статті також окреслено перспективи подальших досліджень у сфері автоматичного призначення рецензентів.

Ключові слова: експертиза, рецензування, задача підбору рецензента, обробка природної мови, задача призначення, дискретна оптимізація, метрика схожості, тематичне моделювання, мовні моделі.

Вступ

Останнім часом все гостріше постає проблема якісної та своєчасної експертизи наукових творів. Під науковими творами розуміються рукописи статей, доповідей конференцій, розділів книжок та монографій, дисертації, запити на гранти тощо. Експертна оцінка (*peer review*) вважається ключовою в сучасному управлінні науковими дослідженнями [1], [2]. Під час експертного оцінювання наукові твори розглядаються з погляду актуальності досліджень, новизни та практичної цінності результатів, достовірності висновків, оригінальності методології тощо [3], [4]. Стратегічна мета експертизи — це забезпечення якості наукових досліджень шляхом відбору кращих наукових творів, відхилення псевдонаукових робіт, зменшення дезінформації та плутанини, поліпшення досліджень в результаті виправлення виявлених слабких місць та недоліків [5], [6].

Опитування [1] вказують на значний запит наукової спільноти щодо поліпшення експертного оцінювання. Поліпшення потребують як якість експертних висновків, так і процедура оцінювання. В пріоритеті скорочення тривалості рецензування з огляду на пришвидшення усіх суспільних процесів з відповідними ризиками втрати актуальності тематики або змін у персональному складі наукової команди. Обсяги експертної роботи колосальні, при чому вони часто сконцентровані у дуже стислі часові інтервали. Наприклад, в 2023 р. на конкурс проектів наукових досліджень і розробок для університетів та наукових установ МОН України подано 749 запитів. Кожний запит оцінюється 5 рецензентами, що сумарно становить біля 3800 експертиз з урахуванням того, що

деякі рецензії відхиляються конкурсною комісією через етичні чи змістовні зауваження. За умовами конкурсу усі підготовчі, експертні та узагальнювальні процедури здійснюються протягом двох місяців. У такому цейтноті за ручного управління експертною діяльністю досягти високої якості висновків надто складно, про що свідчать численні негативні відгуки авторів запитів на отриманні рецензії. Намагання забезпечити високу якість експертизи в подібних умовах призводить до значного затягування оцінювання. Наприклад, на конкурс EURIZONE «Remote Research Grants for Ukrainian Researchers» подано понад 750 заявок. Тривалість експертизи заявок вже перевищила планову на 6 місяців і результатів ще досі немає. Інколи, експертиза затягується і за значно меншою кількістю заявок. Наприклад, конкурс «Кембридж — НФДУ 2022», який адмініструвався Національним фондом досліджень України, проведено із запізненням на 4,5 місяці через проблеми з експертизою, хоча було подано лише 49 заявок. Аналогічні експертні проблеми виникають і під час оцінювання рукописів статей, переважно, в редколегіях топових журналів та програмних комітетах престижних наукових конференцій. Хоча загальносвітовий щорічний приріст опублікованих статей є доволі повільним — 4,1 %, [7], але потік рукописів розподіляється дуже нерівномірно, що призводить до надмірної завантаженості окремих видань.

Ключовим етапом експертного оцінювання є підбір рецензентів відповідно до тематики твору. Цю задачу можна розв'язати вручну, автоматично або ж у змішаному режимі. Враховуючи постійне зростання кількості наукових творів та потребу скорочення термінів експертизи для економії часу і ресурсів, доцільно максимально автоматизувати підбір рецензентів. При цьому, слід забезпечити належну якість підбору. Висвітлення того, як в сучасних умовах формалізуються задачі підбору рецензентів, і у який спосіб може бути автоматизоване їхнє розв'язання, і є *метою пропонованого огляду*.

Задача підбору рецензента для надання експертної оцінки

Підбір рецензента для надання експертної оцінки (*Reviewer Assignment Problem*) є важливою задачею для сучасної академічної спільноти. Окрім згаданих у вступі прикладів, це підтверджується і численними публікаціями відповідних наукових досліджень. Піонерською роботою в цій сфері є стаття [8], яку опубліковано в 1992 р. Для розв'язання задачі підбору рецензентів запропоновано різноманітні підходи, включаючи рекомендаційні системи, системи підтримки прийняття рішень, підходи на основі машинного навчання, лінійного програмування та багато інших. Susan Dumais та Jacob Nielsen [8] у 1992 р. розробили першу автоматичну систему на основі штучного інтелекту, використовуючи інформацію про рецензентів конференції HYPERTEXT'91. Основою системи є використання латентного семантичного коефіцієнта (*Latent Semantic Index*) для порівняння анотацій рецензентів з анотаціями поданих статей. Хоча результати виявилися гіршими за ручний розподіл, ця стаття дала поштовх до розробки нових підходів до автоматизації підбору рецензентів [9].

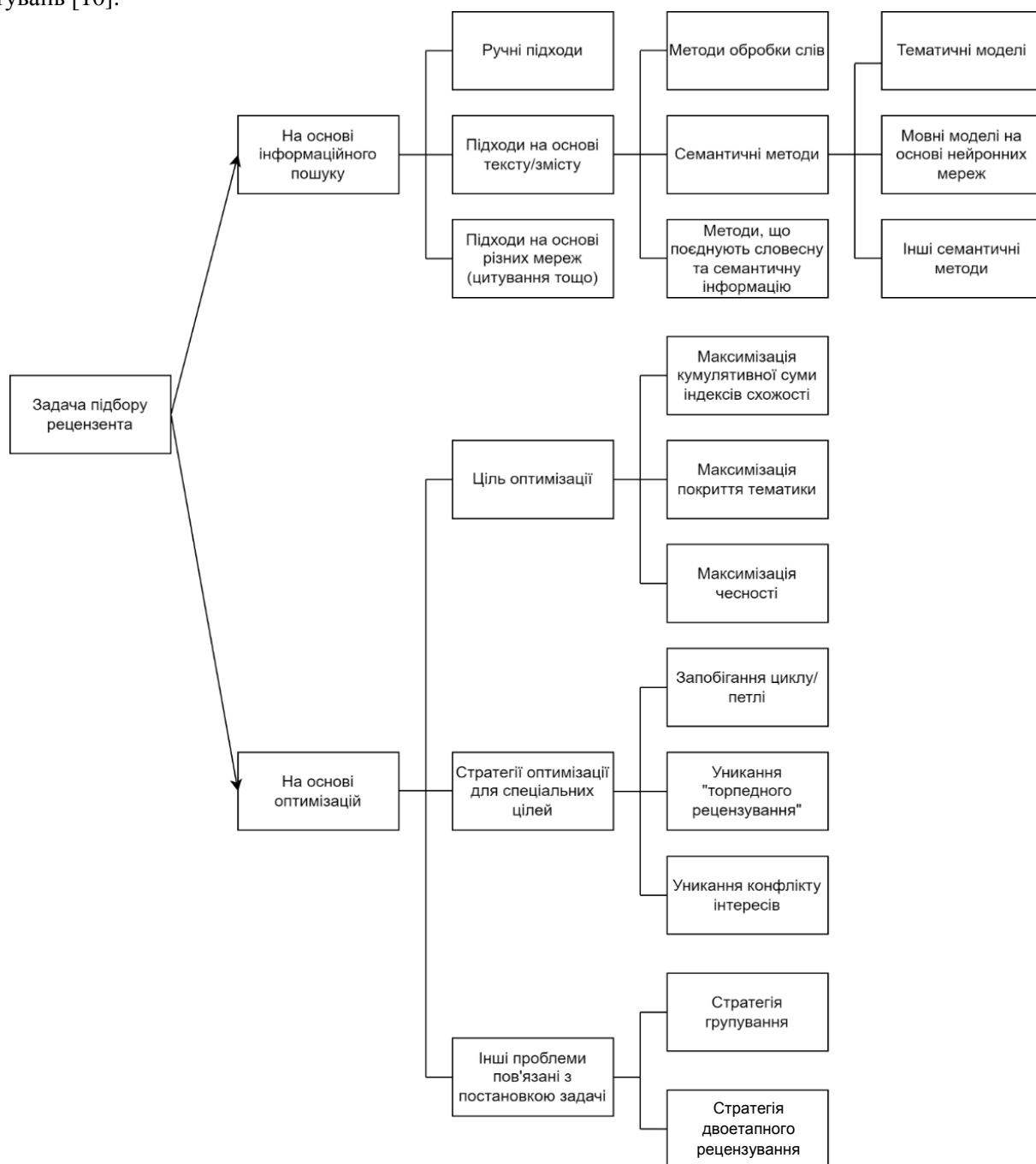
Стрімке зростання публікацій з автоматизації підбору рецензентів спостерігається протягом останнього п'ятиріччя. Кількість публікацій у Scopus зі словосполученням «*Reviewer Assignment*» у назві або в ключових словах в 2019—2023 рр. становить 66, проти 29 в 2014—2018 рр. Стрімке зростання кількості досліджень в цій сфері зумовило і зацікавленість у систематизації напрацьованих, що відображено у свіжих оглядових статтях [9], [10]. В них проведено відповідні літературні огляди, в яких ґрунтовно проаналізовано 103 та 67 релевантних наукових публікацій.

В контексті задачі підбору рецензента твір, який оцінюється, називається заявкою. В [11] виділяють 3 етапи процесу підбору рецензентів: 1) формування бази рецензентів та структурування інформації про рецензентів та заявки; 2) визначення коефіцієнта схожості між заявкою та рецензентом; 3) розподіл заявок за рецензентами для максимізації агрегованої схожості за усіма призначеннями за деяких обмежень. Типовими обмеженнями є дотримання збалансованості навантажень рецензентів, врахування їхніх вподобань та запобігання конфлікту інтересів. В літературі, зокрема у [12], другий та третій етапи часто мають інші назви, а саме: задача підбору рецензента на основі інформаційного пошуку (*information retrieval-based reviewer assignment problem*) та задача підбору рецензентів на основі оптимізації (*optimization-based reviewer assignment problem*). Класифікація підходів вирішення другого етапу та стратегії оптимізації з третього етапу показана на рисунку.

Інформація для формування профілів рецензента та заявки

Автоматичний підбір рецензентів передбачає наявність деякої початкової інформації про рецензентів та заявки. Структуровану сукупність такої інформації називають профілем рецензента та

профілем заявки. Досить часто для побудови профілю рецензента використовується така інформація про його статті, як назва, анотація, ключові слова, повний текст, список посилань, список цитувань [10].



Класифікація підходів до розв'язання задачі підбору рецензента [10]

Профіль також може містити і особисті дані рецензента. У [10] показано, що найчастіше береться до уваги галузь дослідження (галузь експертизи), інформація про співавторство та місце роботи. Основна причина вибору саме цієї інформації полягає в тому, що вона є легко доступною — її зазвичай надають самі рецензенти [10]. Як правило, її недостатньо, щоб повною мірою описати профіль рецензента. Для створення профілю заявки найчастіше використовують анотацію, повний текст, ключові слова, назву роботи та галузь дослідження [10].

Підбір рецензента на основі інформаційного пошуку

У [10] виділяють 3 підходи до інформаційного пошуку — до розв'язання другого етапу підбору рецензента: a — ручний; b — на основі аналізу тексту/змісту; c — на основі нейронних мереж. Ручні підходи в цій роботі не розглядатимемо.

За підходами на основі аналізу тексту/змісту досліджують анотації, ключові слова та іншу подібну інформацію в автоматичному режимі з використанням технологій обробки природної мови. Під аналізом тексту розуміється виявлення лінгвістичних особливостей профілів, а під аналізом змісту — обробка самої суті інформації, яка подається в тексті, тобто виявлення сенсу. Ключовою особливістю методів інформаційного пошуку є розрахунок деякого коефіцієнта схожості між інформацією з профілю рецензента та текстами з профілю заявки. Розрахунок коефіцієнта схожості здійснюється на основі методів мішка слів (*bag-of-words*) та семантичних методів [10], [13].

Методи на основі мішка слів базуються на визначенні частоти появи слів. Вони розділяються на 2 групи: моделі векторного простору та статистичні мовні моделі [10]. Моделі векторного простору представляють кожну заявку і кожного рецензента як вектори мішка слів, зважених індексом даних з профілів заявок та рецензентів відповідно. Кожне слово подається як числовий вектор, який відповідає тому, як слово використовується або що воно означає. Маючи таке представлення даних про заявки та рецензентів, задача визначення схожості між ними зводиться до порівняння двох векторів. Перша така модель була запропонована у 1999 р. в [14]. В ній як індекс схожості між рецензентом та заявкою використано косинус відповідних векторів. Моделі векторного простору досить популярні, але вони базуються на лексичному збігу і припускають, що слів достатньо для того, щоб однозначно описати зміст тексту. Проте це спричиняє втрату контексту. Мають місце і проблеми у випадку синонімів та полісемії.

Статистичні мовні моделі описують текст з профілів заявок та профілів рецензентів як ймовірнісні розподіли деяких фрагментів тексту — слів, словосполучень та речень. Схожість між заявками та профілями рецензентів розраховується як подібність відповідних ймовірнісних розподілів.

Головна проблема методів на основі мішка слів полягає в тому, що вони використовують частоту появи слів в тексті, і не враховують його семантику. Ця проблема явно проявляється за синонімічних або близьких за значеннями виразів. Наприклад, синонімічні вирази «висновок» та «результат виведення» за результатами такого моделювання можуть бути взагалі несхожими. Також, проблема проявляється і для омонімів, тобто слів, які мають декілька різних значень в залежності від контексту. Тому, визначення схожості між заявкою та профілем рецензента в деяких випадках може давати хибні результати. Для вирішення цієї проблеми розроблено семантичні моделі визначення схожості між заявками та профілями рецензентів в контексті підходів на основі тексту/змісту.

Семантичні моделі визначення схожості, зазвичай, основані на тематичному моделюванні. За тематичним моделюванням документ представляється у просторі меншої розмірності, аніж мішок слів, а саме у просторі тематик. Підбір рецензентів за тематичним моделюванням здійснюється з використанням прихованої семантичної індексації [8], прихованого ймовірнісного семантичного аналізу [15], [16] або прихованого розподілу Діріхле [17]. Прихований розподіл Діріхле вважається однією з найкращих сучасних моделей тематичного моделювання. За цією тематичною моделлю документи представляються як випадкова суміш прихованих тематик, яка формується на основі ймовірнісного моделювання спільної появи (*co-occurrence*) слів у тексті. Хоча тематики в прихованому просторі вважаються семантично зв'язаними, тематичні моделі все ж таки будують розподіл спільної появи слів в тексті, а не опрацьовують семантики цих слів в явному вигляді [18]. Тематичні моделі припускають, що слова з аналізованого тексту є незалежними та некорельованими. Це значно поліпшує ефективність обробки текстів, але ігнорує семантичні зв'язки між словами. Тематичні моделі для побудови достовірного розподілу потребують великих текстових масивів. Коли для моделювання доступні лише короткі тексти, до прикладу, лише анотація, це часто призводить до проблемних ситуацій [19].

Під час визначення коефіцієнта схожості рецензента та заявки, слід враховувати, що в загальній множині тематик можуть бути і споріднені елементи. Розглянемо ситуацію, коли заявку віднесено до тематик A та B , а рецензента — до тематик C та D . Якщо відсутня спорідненість між будь-якою парою тематик з множини $\{A, B, C, D\}$, тоді рецензент абсолютно не відповідає заявці. Але, якщо є споріднені пари тематик, наприклад, A та C чи A та D , тоді деякою мірою рецензент відповідає заявці. Для визначення коефіцієнта схожості в цьому випадку можна застосовувати метрику зі статті [20].

Розглянуті вище методи для представлення тексту з профілів заявки та рецензента за своєю суттю є частотними. Вони розглядають документи як множину слів і не враховують їхній порядок, а також взаємозв'язок сусідніх слів. Відповідно, отримати повноцінний семантичний опис тексту за цими методами неможливо. Частотні методи на великих текстах продукують розріджені вектори. При цьому, проявляється «прокляття розмірності», коли зі зростанням розмірності вектора він

стає все розрідженішим. Як альтернативу частотним методам запропоновано мовні моделі на основі глибокого навчання та нейронних мереж. Вони утворюють вектори ембедингу (*word embedding*), які деякою мірою описують семантичні особливості елементів тексту. Термін *ембединг* означає вбудовування слова у числовий неперервний простір шляхом перетворення його у вектор чисел. Просторові зв'язки двох векторів відображають семантичні зв'язки між двома відповідними словами. Використовуючи ембединг, текст можна представляти у відносно маловимірному просторі. Моделі ембедингу поділяють на 2 типи: статичні та контекстуальні. Статичні моделі можуть кодувати морфологічні і семантичні характеристики тексту. До цих моделей відносять Word2Vec [21], Glove [22] та FastText [23]. Контекстуальні моделі ембедингу включають в себе глибокі нейронні мережі ULMFiT [24], BERT [25], GPT-2 [26], DistillBert [27]. На основі ембедингу запропоновані відповідні методи для задачі підбору рецензента [19], [28]—[30].

Оптимізація підбору рецензентів

На третьому етапі задачі підбору рецензентів виконується розподіл рецензентів за заявками. При цьому використовується розрахована на другому етапі матриця коефіцієнтів схожості профілів рецензентів та заявок. Таке призначення рецензентів є частинним випадком оптимізаційної задачі про призначення (*generalized assignment problem*) [31], у якій кожному об'єкту деякої множини потрібно поставити у відповідність один або декілька об'єктів іншої множини. Маючи множину рецензентів та заявок, а також коефіцієнти схожості між кожною парою рецензент—заявка, задачу оптимізації можна представити у вигляді повного дводольного графа [10], [32].

Критерієм оптимальності в задачі призначення рецензентів може бути:

- сума коефіцієнтів схожості для усіх призначень [33]—[37];
- сумарний рівень покриття тематик [32], [38]—[44];
- рівень справедливості усіх призначень [45]—[49].

Ключовими обмеженнями в задачі оптимізації є такі [10]:

- максимальний рівень завантаженості рецензента — кожен рецензент може опрацювати лише певну кількість заявок;
- мінімальна кількість рецензентів для кожної заявки;
- уникнення конфлікту інтересів — рецензент не призначається, якщо виявлено чутливі зв'язки між ним та авторами заявки, наприклад, спільне місце роботи, співавторство в інших роботах, робота над спільним проектом, родинні зв'язки тощо;
- захист надмірної прискіпливості (*strategyproofing*), коли рецензенти також беруть участь в конкурсі як автори, і можуть штучно занижувати оцінки іншим [50], [51];
- уникнення «торпедного рецензування», рецензенти можуть прагнути бути призначеними до конкретних заявок, які їм не подобаються, з метою надання їм поганих оцінок [52];
- запобігання комплементарним парам, коли рецензенти є авторами заявок, і можуть змовитися для підтримки один одного [53]—[55];
- експертність рецензентів повинна покривати усі тематики заявки, тобто у рецензентів має бути достатньо знань щоб комплексно оцінити заявку [39], [45], [48], [56].

Окрім тематичних показників, можуть враховуватися і процедурні характеристики: як часто рецензент відмовлявся від пропозицій, як швидко рецензент оцінював заявки в минулому, яка якість його рецензування, наприклад, середнє число циклів виправлення рецензій чи наскільки оцінка рецензента відрізняється від медіанних значень тощо.

У випадку максимізації суми коефіцієнтів схожості для усіх призначень описана задача оптимізації може бути зведена до задачі цілочислового лінійного програмування (*integer linear programming*) [36], [57]—[62]. Така задача є NP-повною, тому може бути успішно розв'язана лише за малої розмірності. Для розв'язання реальних задач з великою кількістю заявок та рецензентів застосовують евристичні та мета-евристичні алгоритми: різні варіації жадібних алгоритмів [16], [34], [40], [49], [54], [63], [64], генетичні алгоритми [65]—[67], метод рою частинок [68] та інші. Також використовують модель дводольного графа, що дозволяє звести задачу підбору рецензента до задачі пошуку максимального потоку на графі [33] або до задачі пошуку мінімальної вартості на потоковій мережі [69].

Метою оптимізації може бути вибрана і максимізація покриття тематик заявок. Під покриттям тематики розуміється відповідність призначення галузі знань, науковій спеціальності або дослідницькому питанню. Покриття тематик формалізують у різний спосіб [32], [38], [40]—[44]. Можливе застосування і змішаних критеріїв, які одночасно з покриттям тематики, враховують і заванта-

женість рецензентів та мінімальну кількість призначень за кожною заявкою [39], [40].

Максимізація сумарного рівня відповідності та максимізація покриття тематики в цілому дають адекватні результати, однак може виникати питання справедливості експертизи. Під справедливістю розуміється те, що розподіл рецензентів за експертністю має бути рівномірним. У разі максимізації суми індексів схожості чи максимізації покриття тематики може виникнути ситуація, коли деякі заявки розглядають лише рецензенти з високою експертністю — ті рецензенти, що дуже добре підходять під заявки. Відповідно, ці заявки отримують достовірні оцінки. Інші заявки оцінюють посередні або слабкі рецензенти. Відповідно, їхні оцінки матимуть низьку достовірність — оцінки можуть бути як значно завищеними, так, і значно заниженими. Заявки опиняться у суттєво різних оціночних умовах, і принцип справедливої конкуренції не буде дотриманим. Алгоритм оптимізації не може усім заявкам підібрати висококласних рецензентів з високим рівнем експертності через те, що множина рецензентів обмежена. Найпростіший спосіб забезпечити справедливість — це додати обмеження, щоби кожна заявка мала б принаймні одного рецензента з високим рівнем відповідності [45] або щоби сумарний рівень призначених заявці рецензентів перевищував деякий поріг [48]. Звичайно, можна вимагати і рівномірності рівня експертності за усіма заявками, тобто, справедливість завести у критерій оптимальності. Але, тоді може статися так, що найекспертніших рецензентів, яких зазвичай небагато, алгоритм не призначатиме, щоби не виходити за середній рівень, щоби не збільшувати нерівномірність. Щоби цього не сталося, алгоритм оптимізації потрібно ускладнити, наприклад, шляхом надання пріоритету рецензентам з високим рівнем експертності.

Висновки

Здійснено високорівневий аналіз поточного стану досліджень з розв'язання задачі автоматичного підбору рецензентів. Задача підбору рецензента розв'язується у 3 етапи: 1) структурування початкової інформації для створення профілів рецензента та заявки; 2) визначення індексів схожості між профілями рецензента та заявки; 3) оптимізація призначення рецензентів до заявок на основі різних критеріїв. Встановлено, що на сьогодні відсутні систематичні дослідження, які комплексно розв'язують задачу автоматичного підбору рецензентів на усіх трьох етапах. В аналізованих статтях увага акцентована на ізольованому вирішенні завдань окремих етапів. Але, усі три етапи пов'язані, і від того як, наприклад, оцінюється схожість на другому етапі, залежать результати третього етапу. Тому, в майбутніх дослідженнях задачі підбору рецензента варто звернути увагу на комплексне рішення з урахуванням усіх етапів від початку до кінця.

Однією з проблем в задачі підбору рецензента наразі є відсутність датасетів для перевірки якості призначень рецензентів до заявок. Особливо це важливо для методів на основі глибокого навчання, оскільки вони вимагають великої кількості даних. Більшість досліджень використовують приватні дані з конференцій, що робить неможливим об'єктивне порівняння різних підходів. До того ж, датасет для комплексної верифікації якості підбору повинен бути досить різноманітним, щоби мати можливість перевірити різні обмеження оптимізації, такі як покриття тематики, уникання конфлікту інтересів, забезпечення справедливості, захист від змови тощо.

Для представлення профілів рецензента та заявок нещодавно почали використовувати мовні моделі на основі глибокого навчання. Кількість робіт незначна в порівнянні з традиційними підходами на основі тематичного моделювання та статистичного аналізу, але глибоке навчання показує чудові результати аналізу тексту в інших сферах. Тому, є сенс перевірити ефективність різноманітних мовних моделей на основі глибокого навчання для задач підбору рецензентів. Ще одним із перспективних напрямків є використання графових нейронних мереж (*graph neural networks*) для моделювання представлення даних про публікації рецензентів у формі деякого графу цитувань, що потенційно може дозволити виявляти приховані конфлікти інтересів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] N. B. Shah, "An Overview of Challenges, Experiments, and Computational Solutions in Peer Review," *Communications of the ACM*, vol. 65, no. 6, pp. 76-87, June 2022 <https://doi.org/10.1145/3528086>.
- [2] S. Price, and P. A. Flach, "Computational Support for Academic Peer Review: A Perspective from Artificial Intelligence," *Communications of the ACM*, 2017.
- [3] T. Brown, "Peer Review and the Acceptance of New Scientific Ideas: Discussion Paper from a Working Party on Equipping the Public with an Understanding of Peer Review," *Sense About Science*, November 2002-May 2004.
- [4] А. Т. Ашерев, *Диссертаци. Експресс-анализ качества: руководство для экспертов, оппонентов и науч. руководителей*, моногр. Украинская инженерно-педагогическая академия. Харьков: Кортес-2001, 2008, 53 с.

- [5] D. J. Benos, E. Bashari, et al. "The ups and downs of peer review," *Adv Physiol Educ.*, no. 31(2), pp. 145-152, 2007. <https://doi.org/10.1152/advan.00104.2006>.
- [6] T. Jefferson, P. Alderson, E. Wager, and F. Davidoff, "Effects of editorial peer review: a systematic review," *JAMA*, no. 287(21), pp. 2784-2786, 2002. <https://doi.org/10.1001/jama.287.21.2784>.
- [7] L. Bornmann, R. Haunschild, and R. Mutz, "Growth rates of modern science: a latent piecewise growth curve approach to model publication numbers from established and new literature databases," *Humanit Soc Sci Commun*, no. 8, pp. 224, 2021. <https://doi.org/10.1057/s41599-021-00903-w>.
- [8] S. T. Dumais, and J. Nielsen, "Automating the assignment of submitted manuscripts to reviewers," in *Proceedings of the Fifteenth Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 1992, pp. 233-244. Publ by ACM. <https://doi.org/10.1145/133160.133205>.
- [9] A. C. Ribeiro, A. Sizo, and L. P. Reis, "Investigating the reviewer assignment problem: A systematic literature review," *Journal of Information Science*, 2023. <https://doi.org/10.1177/01655515231176668>.
- [10] Meltem Aksoy, Seda Yanik, and Mehmet Fatih, Amasyali. *Reviewer Assignment Problem: A Systematic Review of the Literature*. *J. Artif. Int. Res.* 76, May 2023. <https://doi.org/10.1613/jair.1.14318>.
- [11] F. Wang, N. Shi, and B. Chen, "A comprehensive survey of the reviewer assignment problem," *International Journal of Information Technology and Decision Making*, no. 9 (4), pp. 645-668, 2010. <https://doi.org/10.1142/S0219622010003993>.
- [12] F. Wang, B. Chen, and Z. Miao, "A survey on reviewer assignment problem," *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 5027 LNAI(60704048), pp. 718-72, 2008. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69052-8_75.
- [13] S. Tan, Z. Duan, S. Zhao, J. Chen, and Y. Zhang, "Improved reviewer assignment based on both word and semantic features," *Information Retrieval Journal*, no. 24 (3), pp. 175-204, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10791-021-09390-8>.
- [14] D. Yarowsky, and R. Florian, "Taking the load off the conference chairs: Towards a digital paper-routing assistant," in *Proceedings of the 1999 Joint SIGDAT Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Very Large Corpora*, EMNLP 1999, pp. 220-230, 1999. Association for Computational Linguistics (ACL).
- [15] M. Karimzadehgan, C. X. Zhai, and G. Belford, "Multi-aspect expertise matching for review assignment," in *Proceedings of International Conference on Information and Knowledge Management*, 2008, pp. 1113-1122, <https://doi.org/10.1145/1458082.1458230>.
- [16] M. Mirzaei, J. Sander, and E. Stroulia, "Multi-Aspect Review-Team Assignment using Latent Research Areas," *Information Processing and Management*, no. 56 (3), pp. 858-878, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2019.01.007>.
- [17] D. M. Blei, A. Y. Ng, and M. I. Jordan, "Latent Dirichlet allocation," *Journal of Machine Learning Research*, no. 3 (4-5), pp. 993-1022, 2003. <https://doi.org/10.7551/mitpress/1120.003.0082>.
- [18] E. Ekinci, and S. I. Omurca, "NET-LDA: A novel topic modeling method based on semantic document similarity," *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, no. 28 (4), pp. 2244-2260, 2020. <https://doi.org/10.3906/ELK-1912-62>.
- [19] O. Anjum, H. Gong, S. Bhat, J. Xiong, and W. M. Hwu, "Pare: A paper-reviewer matching approach using a common topic space," in *EMNLP-IJCNLP 2019 - 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and 9th International Joint Conference on Natural Language Processing, Proceedings of the Conference*, pp. 518-528, 2019. Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/d19-1049>.
- [20] С. Д. Штовба, М. В. Петричко, і М. Ю. Петранова, «Метрика схожості категоріальних розподілів, що враховує спорідненість різних категорій», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 2 (167), с. 49-57, 2023. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-167-2-49-57>.
- [21] T. Mikolov, I. Sutskever, K. Chen, G. Corrado, and J. Dean, "Distributed representations of words and phrases and their compositionality," in *Advances in Neural Information Processing Systems. Neural information processing systems foundation*, 2013.
- [22] J. Pennington, R. Socher, and C. D. Manning, "GloVe: Global vectors for word representation," in *EMNLP 2014-2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Proceedings of the Conference*, 2014, pp. 1532-1543. Association for Computational Linguistics (ACL). <https://doi.org/10.3115/v1/d14-1162>.
- [23] P. Bojanowski, E. Grave, A. Joulin, and T. Mikolov, "Enriching Word Vectors with Subword Information," *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, no. 5, pp. 135-146, 2017.
- [24] J. Howard, and S. Ruder, "Universal Language Model Fine-tuning for Text Classification." *ACL, Association for Computational Linguistics*. 2018. <http://arxiv.org/abs/1801.06146>.
- [25] J. Devlin, M. W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova, "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding," *arXiv Preprint*. arXiv:1810.04805v2. 1-16. 2018.
- [26] R. Alec, W. Jeffrey, C. Rewon, L. David, A. Dario, and S. Ilya, "Language Models are Unsupervised Multitask Learners | Enhanced Reader," *OpenAI Blog*, no. 1(8), p. 9, 2019.
- [27] V. Sanh, L. Debut, J. Chaumond, and T. Wolf, "DistilBERT, a distilled version of BERT: smaller, faster, cheaper and lighter," *arXiv preprint arXiv:1910.01108*. 2019.
- [28] C. Sun, K. Ng, T. J. Henville, P., and R. Marchant, "Hierarchical word mover distance for collaboration recommender system," in *Communications in Computer and Information Science*, vol. 996, pp. 289-302, 2019. Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6661-1_23.
- [29] X. Kong, H. Jiang, Z. Yang, Z. Xu, F. Xia, and A. Tolba, "Exploiting Publication Contents and Collaboration Networks for Collaborator Recommendation," *PLoS ONE*, no. 11(2): e0148492. 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148492>.
- [30] Y. Zhao, J. Tang, and Z. Du, "EFCNN: A Restricted Convolutional Neural Network for Expert Finding," in: Yang Q., Zhou Z. H., Gong Z., Zhang M. L., Huang S. J., Eds *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. PAKDD 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 11440, 2019. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16145-3_8.
- [31] D. G. Cattrysse, and L. N. Van Wassenhove, "A survey of algorithms for the generalized assignment problem," *European Journal of Operational Research*, no. 60 (3), pp. 260-272, 1992. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90077-M](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90077-M).
- [32] C. Long, R. C. W. Wong, Y. Peng, and L. Ye, "On good and fair paper-reviewer assignment," in *Proceedings IEEE International Conference On Data Mining*, 2013, pp. 1145-1150. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2013.13>.
- [33] J. Goldsmith, and R. H. Sloan, "The AI conference paper assignment problem," in *AAAI Workshop - Technical Report*, vol. WS-07-10, pp. 53-57, 2007.

- [34] W. D. Cook, B. Golany, M. Kress, M. Penn, and Raviv, "Optimal allocation of proposals to reviewers to facilitate effective ranking," *Management Science*, no. 51 (4), pp. 655-661, 2005. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1040.0290> .
- [35] T. Kolasa, and D. Krol, "A survey of algorithms for paper-reviewer assignment problem," *IETE Technical Review (Institution of Electronics and Telecommunication Engineers, India)*, no. 28 (2), pp. 123-134, 2011. <https://doi.org/10.4103/0256-4602.78092> .
- [36] L. Charlin, R. Zemel, and C. Boutilier, "A framework for optimizing paper matching," in *Proceedings of the 27th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, pp. 86-95, 2012.
- [37] L. Charlin, and R. S. Zemel, "The Toronto Paper Matching System: An automated paper-reviewer assignment system," in *ICML Workshop on Peer Reviewing and Publishing Models (PEER)*, vol. 28, 2013.
- [38] D. K. Tayal, P. C. Saxena, A. Sharma, G. Khanna, and S. Gupta, "New method for solving reviewer assignment problem using type-2 fuzzy sets and fuzzy functions," *Applied Intelligence*, no. 40 (1), pp. 54-73, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10489-013-0445-5> .
- [39] M. Karimzadehgan, and C. X. Zhai, "Integer linear programming for Constrained Multi-Aspect Committee Review Assignment," *Information Processing and Management*, no. 48 (4), pp. 725-740, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2011.09.004> .
- [40] M. Karimzadehgan, and C. X. Zhai, "[Constrained multi-aspect expertise matching for committee review assignment," in *International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings, 2009*, pp. 1697-1700. <https://doi.org/10.1145/1645953.1646207> .
- [41] W. Tang, J. Tang, T. Lei, C. Tan, B. Gao, and T. Li, "On optimization of expertise matching with various constraints," *Neurocomputing*, no. 76 (1), pp. 71-83, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2011.04.039> .
- [42] W. Tang, J. Tang, and C. Tan, "Expertise matching via constraint-based optimization," in *Proceedings-2010 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence, WI 2010*, vol. 1, pp. 34-41, 2010. <https://doi.org/10.1109/WI-IAT.2010.133> .
- [43] N. Xue, J. X. Hao, S. L. Jia, and Q. Wang, "An interval fuzzy ontology-based peer review assignment method," in *Proceedings of IEEE International Conference on E-Business Engineering, 2012*, 55-60. <https://doi.org/10.1109/ICEBE.2012.19> .
- [44] A. Kale, R. Kharat, S. Bodkhe, P. Apte, and H. Dhonde, "Automated fair paper reviewer assignment for conference management system," in *Proceedings of 1st International Conference on Computing, Communication, Control and Automation, ICCUBEA 2015, 2015*, pp. 408-411. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2015.85> .
- [45] D. Hartvigsen, J. C. Wei, and R. Czuchlewski, "The conference paper-reviewer assignment problem" *Decision Sciences*, vol. 30, pp. 865-876, 1999. Decision Sciences Institute. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1999.tb00910.x> .
- [46] N. Garg, T. Kavitha, A. Kumar, K. Mehlhorn, and J. Mestre, "Assigning papers to referees," *Algorithmica (New York)*, no. 58 (1), pp. 119-136, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00453-009-9386-0>.
- [47] I. Stelmakh, N. B. Shah, and A. Singh, "PeerReview4All: Fair and Accurate Reviewer Assignment," in *Peer Review. arXiv preprint*, arXiv:1806.06237, 2019. <https://arxiv.org/abs/1806.06237> .
- [48] A. Kobren, B. Saha, and A. McCallum, "Paper matching with local fairness constraints," in *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, KDD '19, 2019*, pp. 1247-1257, New York, USA. ACM.
- [49] J. Pay and Y. Zick, "I Will Have Order!" *Optimizing Orders for Fair Reviewer Assignment. arXiv preprint*, arXiv:2108.02126, 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.02126>.
- [50] K. Dhull, S.J ecmen, P. Kothari, and N. B. Shah, "Strategyproofing Peer Assessment via Partitioning," *The Price in Terms of Evaluators' Expertise. arXiv preprint*, arXiv:2201.10631, 2022. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.10631> .
- [51] N. Alon, F. Fischer, A. Procaccia, and M. Tennenholtz, "Sum of us: Strategyproof selection from the selectors," in *Proceedings of the 13th Conference on Theoretical Aspects of Rationality and Knowledge, 2011*, pp. 101-110.
- [52] S. Jecmen, H. Zhang, R. Liu, N. B. Shah, V. Conitzer, and F. Fang, "Mitigating Manipulation," in *Peer Review via Randomized Reviewer Assignments. arXiv preprint arXiv:2006.16437, 2020*. <http://arxiv.org/abs/2006.16437> .
- [53] L. Guo, J. Wu, W. Chang, J. Wu, and J. Li, "K-Loop Free Assignment," in *Conference Review Systems. In 2018 International Conference on Computing, Networking and Communications, ICNC 2018, 2018*, pp. 542-547. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICCNC.2018.8390343> .
- [54] N. Boehmer, R. Bredereck, and A. Nichterlein, "Combating Collusion Rings is Hard but Possible," *arXiv preprint*, arXiv:2112.08444, 2021. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.08444> .
- [55] K. Leyton-Brown, Mausam, Y. Nandwani, H. Zarkoob, C. Cameron, N. Newman, and D. Raghu, "Matching Papers and Reviewers at Large Conferences," *arXiv preprint*, arXiv:2202.12273, 2022. <https://arxiv.org/abs/2202.12273> .
- [56] T. Silva, M. Jian, and Y. Chen, "Process analytics approach for R&D project selection." *ACM Transactions on Management Information Systems*, no. 5(4), 2014. <https://doi.org/10.1145/2629436> .
- [57] C. J. Taylor, "On the optimal assignment of conference papers to reviewers," *Technical Report MS-CIS-08-30*, University of Pennsylvania, 2008.
- [58] J. J. Merelo-Guervós, and P. Castillo-Valdivieso, "Conference paper assignment using a combined greedy/evolutionary algorithm," *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, no. 3242, pp. 602-611, 2004. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30217-9_61 .
- [59] S. L. Janak, M. S., Taylor, C. A. Floudas, M. K. Burka, and T. J. Mountziaris, "A novel and effective integer optimization approach for the Nsf panel assignment problem: A multi-resource and preference-constrained generalized assignment problem," in *Proceedings of AIChE Annual Meeting*, no. 609, pp. 6066, 2005.
- [60] N. N. Li, Z. Zhao, J. H. Gu, and B. Y. Liu., "Ant colony optimization algorithm for expert assignment problem," in *Proceedings of the 7th International Conference on Machine Learning and Cybernetics I 2008, July*, pp. 660-664. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2008.4620487> .
- [61] D. Conry, Y. Koren, and N. Ramakrishnan, "Recommender systems for the conference paper assignment problem," in *Proceedings of the 3rd ACM Conference on Recommender Systems, 2009*, pp. 357-360. <https://doi.org/10.1145/1639714.1639787>.
- [62] B. Kat, "An algorithm and a decision support system for the panelist assignment problem: The case of TUBITAK," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, no. 36 (1), pp. 69-87, 2021. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.631071> .
- [63] F. Wang, S. Zhou, and N. Shi, "Group-to-group reviewer assignment problem," *Computers and Operations Research*, no. 40 (5), pp. 1351-1362, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.08.005> .
- [64] D. K. Pradhan, J. Chakraborty, P. Choudhary, and S. Nandi, "An automated conflict of interest based greedy approach for conference paper assignment system," *Journal of Informetrics*, no. 14 (2), 2020. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2020.101022> .

[65] Y. Xu, J. Ma, Y. Sun, G. Hao, W. Xu, and D. Zhao, "A decision support approach for assigning reviewers to proposals," *Expert Systems with Applications*, no. 37 (10), pp. 6948-6956, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.03.027>.

[66] N. N. Li, J. N. Zhang, J. H. Gu, and B. Y. Liu, "Solving expert assignment problem using improved genetic algorithm," in *Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2007, 2 August, pp. 934-937. <https://doi.org/10.1109/ICMLC.2007.4370276>.

[67] J. Li, J. Peng, and Y. Wei, Adaptive parallel genetic algorithm for expert assignment problem. In *Proceedings of 6th International Symposium on Computational Intelligence and Design*, no. 1, pp. 23-26, 2013. <https://doi.org/10.1109/ISCID.2013.13>.

[68] C. Yang, T. Liu, W. Yi, X. Chen, and B. Niu, "Identifying expertise through semantic modeling: A modified BBPSO algorithm for the reviewer assignment problem," *Applied Soft Computing Journal*, no. 94, pp. 106483, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106483>.

[69] M. Huang, B. Liu, and L. Hong, "On assigning papers to reviewers," *2nd International Workshop on Database Technology and Applications*, 2010. <https://doi.org/10.1109/DBTA.2010.5659009>.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 8.01.2024

Петричко Микола Володимирович — аспірант кафедри комп'ютерних систем управління, e-mail: mpetrychko@vntu.edu.ua.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Штовба Сергій Дмитрович — д-р техн. наук., професор, професор кафедри інформаційних технологій Донецького національного університету імені Василя Стуса, Вінниця; професор кафедри комп'ютерних систем управління Вінницького національного технічного університету, e-mail: shtovba@vntu.edu.ua

M. V. Petrychko¹
S. D. Shtovba^{1,2}

Automation of Scientific Reviewer Assignment: a Survey of Problems and Methods

¹Vinnitsia National Technical University;

²Vasyl' Stus Donetsk National University,

High-quality and timely peer review for scientific works has become increasingly acute recently. Scientific reviewers peer review journal articles, conference papers, monographs, PhD-thesis, grants etc. Scientific reviewers are assigned mainly manually due to the lack of time. Having large volumes of content to review, a high-quality peer review is hard to get. In recent years there has been an increase in research on reviewer assignment automation. Also, the formal comparison of a reviewer's research domains and a proposal's research domains, or character-level comparison of keywords do not always provide high-quality assignments. In this paper, we perform a review on current methods of automated scientific reviewer assignment. There are 3 stages of reviewer assignment process: 1) creating reviewers' database and structuring the information about reviewers and proposals; 2) calculating the similarity score between a proposal and a reviewer; 3) finding the appropriate assignment of proposals to reviewers, and maximizing the aggregated similarity and overall topic coverage over all assignments. Two main variations of reviewer assignment problem are considered: single and multiple reviewer assignment problem. Methods for structuring the information about proposals and reviewers based on statistical analysis of text, topic modeling and deep learning are analyzed. In the third stage, we considered possible optimal criteria for optimizing reviewers' assignments to proposals, and also constraints, that ensure a certain level of reviewers-proposal concordance such as overall topic coverage, fair peer review, reviewers workload etc. The problem of optimal reviewer assignment is NP-complete, therefore for solving different heuristics and meta-heuristics algorithms are used. We also present perspectives of future research on the automated reviewer assignment.

Keywords: peer review, reviewing, reviewer assignment problem, natural language processing, general assignment problem, discrete optimization, similarity metric, topic modeling, language models.

Petrychko Mykola V. — Post-Graduate Student of the Chair of Computer Control Systems, e-mail: mpetrychko@vntu.edu.ua ;

Shtovba Serhiy D. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Information Technology of Vasyl' Stus Donetsk National University; Professor, of the Chair of Computer Control Systems of Vinnitsia National Technical University, e-mail: shtovba@vntu.edu.ua