

Розробка індивідуально-орієнтованого методу вибору суб'єктів наукової діяльності для реалізації наукових проєктів на основі наукометричного аналізу

Х. Сюй, О. Ю. Кучанський, М. В. Гладка

Проведено аналіз основних факторів, що впливають на вибір індивідуальних суб'єктів наукової діяльності або потенційних партнерів та виконавців до складу наукових та освітніх проєктів. Вказано особливості вибору виконавців проєкту різних категорій. Описано функціональні обов'язки учасників проєктів відповідно до структури проєктів.

Розроблено індивідуально-орієнтований метод вибору суб'єктів наукової діяльності як виконавців наукових та освітніх проєктів, враховуючи продуктивність їх наукової діяльності в минулому та з урахуванням структури проєктів. Для визначення переваг суб'єктів наукової діяльності, які включаються до відповідних предметних наукових просторів, необхідно застосувати процедуру оцінювання їх продуктивності. Крім того, потрібно спрогнозувати зміну продуктивності в майбутньому на основі ретроспективних даних для даного суб'єкта. Далі потрібно розв'язати багатокритеріальну задачу вибору серед тих суб'єктів наукової діяльності, які є достатньо продуктивними на думку менеджера проєкту. Використання розробленого методу дозволяє зменшити суб'єктивний вплив на прийняття рішення щодо вибору виконавців проєкту. Це пов'язано з тим, що вибір здійснюється шляхом автоматизованого розрахунку наукометричних показників суб'єктів, керуючись тільки відкритими джерелами інформації.

Проведена верифікація індивідуально-орієнтованого методу вибору суб'єктів наукової діяльності на прикладі формування трьох заявок науково-дослідних проєктів. В результаті середній відсоток науковців, які задовольняють вимоги менеджерів проєктів за кожним предметним науковим простором склав близько 46.55 %. Відсоток тих, кого залучають до виконання проєкту з числа відібраних складає близько 24.07 %. Ймовірність співпраці вища серед тих, хто має середній H-індекс.

Ключові слова: суб'єкт наукової діяльності, наукометричний аналіз, науковий проєкт, багатокритеріальна задача вибору.

1. Вступ

Ключовою передумовою забезпечення науково-технічного прогресу є створення умов для функціонування концепції відкритих інновацій [1]. Це передбачає залучення до науково-дослідних та освітніх проєктів зовнішніх партнерів, виконавців, експертів тощо. Об'єднання кращих науковців, проєктних менеджерів, технічних працівників в рамках інноваційного проєкту є запорукою отримання якісного результату, що може конкурувати у світі розробок [2]. Проте, забезпечення концепції відкритих інновацій, перешкоджає відсутність

теоретичної та практичної бази з формального відбору партнерів для проєкту в цілому, так і для його складових. Недостатніми є формальні описання задачі. Часто партнери та виконавці обираються на основі доцільності та згідно з особистими суб'єктивними перевагами менеджера проєкту [2]. Жодних науково-обґрунтованих висновків щодо доцільності вибору того або іншого виконавця часто не виконується, або виконується з огляду на суб'єктивні оцінки. Слід розуміти, що для вибору партнерів необхідно враховувати їх компетентності, можливий вклад в реалізацію етапів проєкту, зокрема науковий, технічний, законодавчий, адміністративний тощо. Вибір партнерів часто відбувається з урахуванням нових або базових знань, якими ці партнери володіють. Актуальною задачею є виділення таких умов, які б конкретизували фактори відбору партнерів з різними компетентностями, для реалізації різних етапів проєкту та з урахуванням рівня володіння знаннями. Також треба виділити особливі типи виконавців проєкту: індивідуальних суб'єктів наукової діяльності, тобто наукових співробітників та колективних суб'єктів наукової діяльності (заклади вищої освіти, дослідні інститути тощо). Це підтверджується в роботі [2], в якій пропонується концепція відкритих інновацій в науці (OIS), що передбачає застосування відкритих та спільних практик протягом процесу створення та поширення нових наукових ідей.

Актуальною задачею є розробка індивідуально-орієнтованого методу вибору суб'єктів наукової діяльності або наукових партнерів з урахуванням структури проєкту, враховуючи їх продуктивність в минулому в напрямку проєкту. Це дозволить сформулювати науково-обґрунтовані, раціональні висновки щодо селекції того або іншого партнера для формування проєктних груп за різними етапами наукового або освітнього проєкту. Актуальність розробки такого методу підтверджується недостатньою теоретичною та практичною базою для розв'язання задачі вибору партнерів, враховуючи складну структуру наукових проєктів у визначеному предметному науковому просторі. Зокрема, в роботі [3] описано систему вибору науковця з врахуванням наукометричних показників бази Scopus з використанням зваженого впливу науковця в конкретній галузі знань. Використання для вибору наукометричних показників дозволяє врахувати динаміку продуктивності науковців у визначеному предметному просторі. Розробка схеми взаємодії учасників проєктів та опис факторів, що визначають вибір партнерів, забезпечить можливість вибору тих наукових партнерів або суб'єктів наукової діяльності, які посилять результативність та якість проєкту в цілому.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Задача вибору партнерів для співпраці або виконавців проєктів є відомою та спирається переважно на створенні матриць переваг та компетентностей з застосуванням багатокритеріальних методів прийняття рішень. Зокрема, в роботі [4] описані механізми розвитку та ерозії компетенцій у інноваційному проєкті. В роботі [5] запропоновано метод аналізу ієрархії для вибору виконавця проєкту на основі багатокритеріальних рішень. Зокрема, в роботі [6] описується процес вибору партнерів для діяльності компаній. В роботі [7] показано, що вплив на вибір партнерів для спільної діяльності залежить від факторного аналізу. Модель опти-

мізації з використанням генетичного алгоритму для вибору партнерів описано в роботі [8]. В роботі [9] розроблено гібридний алгоритм для оптимізації проблеми вибору партнера, що за числовим експериментом ефективніший, ніж генетичний алгоритм. Проте в роботах [5–9] не враховуються складні мережеві зв'язки між партнерами (конкуренція, співпраця тощо). В роботі [10] описуються підходи для розрахунку важливості партнера, що впливає на забезпечення належної репутації та оцінки діяльності компаній. Врахування мережевої структури зв'язків між партнерами описано в роботі [11]. Структура мережі, самоорганізація та зростання міжнародного співробітництва в науці є факторами впливу на вибір партнера для співпраці, які описано в роботі [12]. В роботі [13] описується вплив на важливість партнера на основі наявності мережі зв'язків хабів. В роботі [14] описується PageRank підхід для оцінювання важливості вузлів мережі співпраці і відповідно важливості партнера. Метод PageRank з використанням тематик описано в роботі [15]. Проте для вибору суб'єктів наукової діяльності, крім врахування зв'язків між науковцями у вигляді мережі цитування та співпраці, треба враховувати динаміку продуктивності наукової діяльності, що у роботах [13–15] не висвітлено. В роботі [16] розглядаються оцінки продуктивності як інструмент вибору партнерів, але без врахування динаміки.

Використання математичних методів для вибору виконавців проєктів переважно стосуються нечіткої математики та нечіткого логічного виведення [17]. Задача вибору партнерів для віртуального підприємства з застосуванням нечіткої логіки описано в роботі [18]. В роботі [19] описано нечіткий метод для вибору наукових партнерів. В роботі [20] запропоновано модель вибору наукового партнера на основі багатofакторного прийняття рішень з побудовою *interval-valued intuitionistic fuzzy set*. Проте в роботах [17–20] при виборі партнерів не береться до уваги структура проєкту.

Вибір виконавців проєктів має на меті оцінити компетентності, які відповідають цілям проєкту та задовольняють менеджера проєкту, який відповідає за досягнення належного результату. В роботі [21] описано компетентності та кваліфікації, якими має володіти виконавець проєкту. Прийняття рішень щодо просування інноваційних проєктів тісно пов'язане з компетентностями наявної команди проєкту [22], визначення яких можна автоматизувати у відповідній інформаційній системі, яка описана в роботі [23]. В роботах [21–23] розглядаються підходи управління проєктами щодо вибору виконавців. Проте не акцентується увага на тому, що виконавці або партнери проєкту мають власний динамічний інформаційний простір, а суб'єкти наукової діяльності – інформаційний науковий простір. Метод формування інформаційного простору суб'єктів наукової діяльності описано в роботі [24].

Динаміка продуктивності суб'єктів наукової діяльності оцінюється на основі аналізу часових рядів, рівні яких відображають оцінки продуктивності. В роботі [25] вказано, що такі ряди можуть бути самоподібними, а отже для їх дослідження і прогнозування може бути використано фрактальний аналіз. Модель оцінювання виконавців на основі експертного підходу описано в роботі [26]. В роботі [27] описано інформаційну технологію, а в роботі [28] розробку методів

для прогнозування часових рядів з врахуванням експертної думки з модифікаціями, що враховують зовнішній вплив на часовий ряд.

Для пошуку наукових партнерів також застосовується апарат нейромереж. В роботі [29] запропоновано системи індексів ефективності для наукових досліджень колективних суб'єктів наукової діяльності на основі побудови нейромереж. В роботі [30] для побудови нейронної мережі використовується програмне забезпечення MATLAB. Показано, що запропонований метод може вирішити проблему вибору та оцінювання партнера. Мережі співпраці для селекції партнерів описана в роботі [31], проте не описано вибір партнерів щодо структури проекту, для якого ця задача має вирішуватись. В роботі [32] описується підхід формування команди проекту, враховуючи його структуру. Формування міждисциплінарних наукових команд описано в роботі [33]. В роботі [34] обчислювальна модель збирання команд у наукових галузях. Результати дослідження показують, що ймовірність співпраці вища серед тих, хто має триваліший термін перебування на посаді, нижчий інституційний рівень, нижчий H-індекс, а також більш високий рівень співавторства і цитування. Наступним етапом є побудова екосистеми взаємозв'язку команд для спільного середовища, що описано в роботі [35]. У статті [36] описано порівняння вибору науковців для виконання науково-дослідних проектів за п'ятьма критеріями. Загалом, в статтях мало уваги приділено динаміці продуктивності потенційних партнерів або виконавців проектів та не розкривається складність структури наукових проектів, від чого залежить вибір виконавців. Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого розробці індивідуально-орієнтованого методу вибору суб'єктів наукової діяльності для реалізації наукових проектів на основі наукометричного аналізу.

3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є розробка індивідуально-орієнтованого методу вибору суб'єктів наукової діяльності на основі оцінювання продуктивності їх науково-дослідної активності для формування заявок з реалізації наукових та освітніх проектів. Це дасть можливість автоматизувати та зменшити суб'єктивність процесу вибору компетентних потенційних виконавців проектів, що дозволить підвищити якість проектних результатів в цілому.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- виконати аналіз основних факторів, що визначають вибір потенційних виконавців або індивідуальних суб'єктів наукової діяльності до складу науково-дослідних проектів;
- визначити значущість структури проекту та динаміки наукової продуктивності суб'єктів наукової діяльності у відповідних предметних просторах;
- провести експериментальну верифікацію розробленого методу.

4. Матеріали та методи дослідження

Вибір партнерів або виконавців для реалізації наукового або освітнього проекту часто ґрунтується на компетентностях того чи іншого потенційного партнера з урахуванням структури проекту. Особливо це стосується технічних

спеціалістів (програмістів, системних адміністраторів), тренерів/викладачів (наявність сертифікатів, підвищення кваліфікації в напрямку модуля проекту, досвід), адміністративний персонал (досвід ведення подібних проектів, їх кінцеві оцінки після евалюації). Для виконавців, які повинні виконувати науково-дослідну роботу, процес відбору складніший і має включати продуктивність науковців в напрямку проекту або робочого пакету проекту. Інформація про продуктивність потенційного партнера може представлятися дискретним часовим рядом наукометричних показників, що фіксуються в певні моменти часу (щокварталально, щорічно тощо). Продуктивність науковця може представлятися багатовимірним часовим рядом за різними показниками. Також всі наукометричні показники науковця можуть агрегуватися і тоді його продуктивність відображається одновимірним часовим рядом. Інформація про наукометричні показники отримується методом скрапінгу з баз Scopus, Web of Science, сайту Google Scholar тощо. Для формування агрегованих показників продуктивності важливо розуміти зв'язки цитування між науковцями. Для цього будується мережа цитування, інформація для якої отримується з порталів національних бібліотек, сайтів, на яких розміщуються посилання на наукові публікації і їх цитування. Також будується мережа наукової співпраці, що є важливим кроком для встановлення предметних наукових просторів. Це важливо тому, що повинні підібрати потенційних виконавців не тільки за науковим рейтингом, а за рейтингом в межах локального наукового напрямку, в якому виконавці працюють. Цей напрямок має відповідати науковій частині проекту або його відповідних робочих пакетів. Предметний науковий простір – це сукупність індивідуальних суб'єктів наукової діяльності, що об'єднані за критерієм спільного спрямування тематики науково-дослідної діяльності.

Пропонується індивідуально-орієнтований метод вибору потенційного партнера або виконавця наукового проекту, що базується на теорії прийняття рішень, теорії оцінювання та встановлення переваг, теорії графів та мереж. Для формування мереж цитування та наукової співпраці формується база даних з публікаційною активністю, що збирається з відкритих для доступу джерел (сайтів Google Scholar, Національних бібліотек тощо). Метод є індивідуально-орієнтованим, бо зосереджується на оцінювання персонально кожного потенційного партнера або науковця. Якщо до виконання проекту або його робочих пакетів потрібно залучити колективного суб'єкта наукової діяльності, то для цього досить агрегувати оцінки продуктивності науковців або індивідуальних суб'єктів наукової діяльності, що в цьому закладі працюють. Експертний підхід до задачі вибору потенційних партнерів передбачає залучення експертів з оцінювання та наукометрії.

5. Результати розробки індивідуально-орієнтованого методу вибору суб'єктів наукової діяльності

5.1. Аналіз факторів, що впливають на вибір потенційних виконавців до складу наукових або освітніх проектів

Нехай $G = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}$ – множина наукових та/або освітніх проектів, n – кількість проектів. Задачею є підбір виконавців для цих проектів. Нехай

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_t\}$ – множина потенційних партнерів, які можуть бути залучені до виконання проєктів з множини G . Вважаємо, що потенційними партнерами є індивідуальні суб'єкти наукової діяльності, які мають статті у збірниках, що індексуються наукометричними базами та працюють в науковій установі або закладі вищої освіти. Заклади вищої освіти та науково-дослідні інститути є колективними суб'єктами наукової діяльності. Причому продуктивність індивідуальних суб'єктів наукової діяльності відповідно впливає на продуктивність колективних суб'єктів наукової діяльності в цілому. Про можливі договори субпідряду, які можуть закладатися в заявку проєкту для виконання додаткових завдань сторонніми організаціями чи працівниками в даній задачі не йдеться.

Структура проєктів передбачає наявність робочих пакетів $G_i = \{g_1^i, g_2^i, \dots, g_{r_i}^i\}$, r_i – кількість робочих пакетів проєктів G_i , $i = \overline{1, n}$. Виконання робочих пакетів має часові межі та прив'язане до діаграми Ганта всього проєкту. Кожен робочий пакет пов'язаний результатами або доповнює інші пакети проєкту і стосується конкретної задачі або задач (наукових, адміністративних, технічних, освітніх тощо). Для кожного пакету потрібно підібрати компетентних виконавців, що виконують його на високому рівні. Від цього залежить загальна оцінка якості всього проєкту. Тобто задачею є знаходження множини потенційних виконавців або суб'єктів наукової діяльності для кожного робочого пакету кожного проєкту:

$$\Theta(g_j^i) = \left\{ v_d \in V \mid (v_d, g_j^i) \in Q^i \right\}, \quad Q^i \subset V \times G_i,$$

$$j = \overline{1, r_i}, \quad i = \overline{1, n}, \quad d = \overline{1, t},$$

де $\Theta(g_j^i)$ – множина виконавців j -го робочого пакету i -го проєкту.

Категорії виконавців визначаються особливостями та необхідними результатами проєкту. Але для наукових та освітніх проєктів можна узагальнити їх в такі п'ять категорій:

1. Менеджер або менеджери проєкту. До цієї категорії належать керівники проєкту. Функціональним обов'язком є контроль за своєчасним і результативним завершенням робочих пакетів проєкту, вибір виконавців проєкту. Менеджер для задачі вибору потенційних партнерів є особою, яка приймає рішення.

2. Адміністративні працівники. До цієї категорії належить менеджерський склад або керівництво колективного суб'єкта наукової діяльності. До функціональних обов'язків цієї категорії належить підписання меморандумів, забезпечення документообігу та документальної координації співпраці між іншими колективними суб'єктами наукової діяльності та організаціями-стейкхолдерами. При виборі колективного суб'єкта наукової діяльності до команди проєкту адміністративний склад призначається з числа досвідчених працівників, що мають досвід виконання подібних проєктів.

3. Технічні спеціалісти. До цієї категорії належать програмісти, системні адміністратори, які мають забезпечувати роботу серверів, обладнання, спеціальних установок. Це визначається завданнями проєкту. Критерієм відбору таких працівників є наявність відповідних компетентностей, сертифікації, досвіду тощо.

4. Викладачі та тренери. Ця категорія працівників передусім стосується освітніх проєктів і формується з сертифікованих науково-педагогічних працівників колективного суб'єкта наукової діяльності. Відбір до цієї категорії здійснюється залежно від цілей проєкту та його робочих пакетів, вміння користуватися навчальними платформами, наявними документами про кваліфікацію тощо.

5. Науково-дослідні працівники. Якщо склад попередніх категорій виконавців може бути сформований відносно просто за наявності відповідних компетентностей. Критерії такого відбору є прозорими і часто не потребують автоматизації. У випадку вибору науково-дослідних працівників або індивідуальних суб'єктів наукової діяльності не обійтися без оцінювання продуктивності їх наукової активності. Це впливає безпосередньо на якість результатів всього проєкту. Наукові працівники виконують ключову роль в формальному описанні, проведенні досліджень, лабораторних випробувань та описанні висновків. Вибір науковців визначається завданнями кожного робочого пакету і має відповідати предметному науковому простору, в якому працює потенційний виконавець.

Отже, вибір потенційних партнерів або виконавців наукового або освітнього проєкту залежить від завдань робочих пакетів, категорій виконавців, які мають бути залучені, їх компетентностей, продуктивності тощо. У випадку вибору індивідуальних суб'єктів наукової діяльності така задача є складною та багаторівневою. Для її вирішення в роботі запропоновано індивідуально-орієнтований метод вибору наукових партнерів (виконавців проєкту) з урахуванням структури проєкту та враховуючи продуктивність їх наукової діяльності в минулому, а також прогноз оцінки продуктивності в майбутньому.

5. 2. Встановлення значущості структури проєкту та динаміки наукової продуктивності у відповідних предметних просторах для вибору суб'єктів наукової діяльності

Позначимо через $\varphi_k^j = \Phi(v_j, \tau_k)$ – оцінку продуктивності індивідуального суб'єкта наукової діяльності v_j в момент часу τ_k , $j = \overline{1, t}$, $k = \overline{1, T}$. Оцінка продуктивності представляє собою агрегований показник ефективності суб'єкта наукової діяльності, що може включати H-індекс у відповідних наукометричних базах, кількість статей, кількість цитувань тощо.

Оцінки продуктивності кожного індивідуального суб'єкта наукової діяльності фіксуються у визначені моменти часу (щомісяця, щоквартально, щороку). Тоді продуктивність представляється дискретними часовими рядами: $(\varphi_1^j, \varphi_2^j, \dots, \varphi_T^j)$, $j = \overline{1, t}$.

Нехай $P = \{P_1, P_2, \dots, P_Z\}$ – множина предметних наукових просторів, Z – кількість просторів. Кожному проєкту можна поставити у відповідність предметний науковий простір, $X: G \rightarrow P$. Крім того, кожному робочому пакету проєк-

ту можна поставити у відповідність деяку частину предметного наукового простору, що відповідає тематиці локальних задач даного пакету. Нехай $H = \{H_1, H_2, \dots, H_Y\}$ – множина колективних суб'єктів наукової діяльності, причому

$$\forall v \in V, \exists z \in [1, Z], v \in P_z,$$

$$\forall v \in V, \exists y \in [1, Y], v \in H_y.$$

Тоді, нехай

$$P^z = \{j | j \in [1, t], v_j \in P_z\},$$

$$H^y = \{j | j \in [1, t], v_j \in H_y\},$$

де P^z – множина номерів індивідуальних суб'єктів наукової діяльності, що належать до відповідного наукового предметного простору P_z . H^y – множина номерів індивідуальних суб'єктів наукової діяльності, що належать до відповідного колективного суб'єкта наукової діяльності H^y , $y = \overline{1, Y}$, $z = \overline{1, Z}$.

При виборі виконавців проекту інколи потрібно фіксувати регіон, з якого партнери обираються. Наприклад, в проектах програми Erasmus+ важливо, щоб університети-партнери не були представлені одним регіоном. Важливо, щоб в консорціумі партнерів були університети з різних регіонів країни. Враховуючи це та відповідні предметні наукові простори можна сформулювати такий часовий ряд продуктивності, що включає лише необхідних індивідуальних суб'єктів наукової діяльності:

$$(\varphi_1^j, \varphi_2^j, \dots, \varphi_T^j), j \in P^z \cap H^y.$$

Для фіксованих $z \in [1, Z]$ та $y \in [1, Y]$ та. Якщо місце роботи потенційного виконавця не важливо, то $j \in P^z$.

Оцінка продуктивності суб'єкта наукової діяльності, що була зафіксована нещодавно має мати більшу вагу, ніж та, що фіксувалась давно. Відповідно для розрахунку кількісної оцінки продуктивності по кожному індивідуальному суб'єкту пропонується застосувати лінійно-зважене плинне середнє за формулою:

$$\hat{\varphi}_{T+1}^j = \left(\sum_{m=1}^p m \right)^{-1} \cdot \left(\sum_{d=1}^p (p-d+1) \cdot \varphi_{T-d+1}^j \right), j \in P^z \cap H^y, \quad (1)$$

$\hat{\phi}_{T+1}^j$ – прогноз продуктивності з горизонтом 1 для індивідуального суб'єкта наукової діяльності v_j , $j \in P^z \cap H^y$, p – параметр, що визначає період передісторії для розрахунку прогнозу.

Тоді оптимальним індивідуальним суб'єктом наукової діяльності j^* для виконання проекту в напрямку предметного наукового простору P^z , що є співробітником колективного суб'єкту наукової діяльності H^y визначається за формулою:

$$j^* = \arg \max_{j \in P^z \cap H^y, \hat{\Delta}_{T+1}^j > 0} \hat{\phi}_{T+1}^j, \quad (2)$$

де $\hat{\Delta}_{T+1}^j = \hat{\phi}_{T+1}^j - \phi_T^j$ – приріст продуктивності індивідуального суб'єкта наукової діяльності. Суб'єкти, для яких приріст від'ємний – вилучаються з розгляду.

Якщо потенційний виконавець, який виявився лідером за даним критерієм, не дає згоду долучитися до команди виконавців, то пропозиція участі надходить до наступного за ним потенційного виконавця за рейтингом. Таким чином, можна скласти послідовність індивідуальних суб'єктів наукової діяльності з перевагами за критерієм (2): $v_{j_1} \succ v_{j_2} \succ \dots \succ v_{j_r}, v_{j_q} \in V, j_q = \{1, 2, \dots, t\}$.

Якщо для виконання відповідного робочого пакету проекту треба залучити колективний суб'єкт наукової діяльності (університет, інститут, кафедру, факультет тощо), то потенційним виконавцем є той суб'єкт, в якому працює v_j .

Якщо менеджер проекту, крім продуктивності наукової діяльності суб'єктів, має додатковий перелік критеріїв відбору виконавців, то потрібно розв'язати багатокритеріальну задачу вибору.

Для кожного робочого пакета кожного проекту формується перелік критеріїв для відбору потенційних виконавців. Вектор оцінок за критеріями має вигляд:

$$f^{ij}(v_d) = \left(f_1^{ij}(v_d), f_2^{ij}(v_d), \dots, f_{N_{ij}}^{ij}(v_d) \right),$$

N_{ij} – кількість критеріїв оцінювання потенційних виконавців робочих пакетів g_j^i проектів G_i , $j = \overline{1, r_i}$, $i = \overline{1, n}$, $f^{ij}(v_d)$ – вектор оцінок для потенційного виконавця v_d , $d = \overline{1, t}$.

Нехай всі критерії максимізуються, тоді сформулюємо задачу:

$$\sum_{k=1}^{N_{ij}} \alpha_k f_k^{ij}(v) \rightarrow \max, \quad \sum_{k=1}^{N_{ij}} \alpha_k = 1,$$

$$V^{ij} = \left\{ v \in V \mid y_u^{ij}(v) \geq \rho_u^{ij}, u = \overline{1, z_{ij}}, j = \overline{1, r_i}, i = \overline{1, n} \right\},$$

$$v \in V^{ij}, V^{ij} \subset V,$$

де z_{ij} – кількість порогових значень для вектор-функції обмежень $y_u^{ij}(v)$, α_k – значимість критерію $f_k^{ij}(v)$, $k = \overline{1, N_{ij}}$, $j = \overline{1, r_i}$, $i = \overline{1, n}$.

Використаємо метод експертних оцінок. Нехай задана множина експертів $E = \{E_1, E_2, \dots, E_s\}$, s – кількість експертів. Експерти формують неповний профіль переваг потенційних виконавців на основі описаних критеріїв. Позначимо через $\xi_{c,b}^{ij}$ – середню частоту появи кожної з переваг між потенційними виконавцями проєкту v_c та v_b , $c \neq b$, $v_c \in V$, $v_b \in V$. Тоді матриці переваг Λ^{ij} мають вигляд

$$\Lambda^{ij} = \left\{ \xi_{q,w}^{ij} \right\}_{q,w=1}^t, \quad j = \overline{1, r_i}, \quad i = \overline{1, n}.$$

На основі матриці парних порівнянь Λ^{ij} для кожного пакету g_j^i проєкту G_i сформуємо колективне рішення у вигляді впорядкованого переліку потенційних виконавців проєкту. Використовуючи метод формування колективного, за матрицею парних порівнянь, рішення можна для кожного пакету g_j^i проєкту G_i отримати впорядкований перелік потенційних виконавців: $v_{j_1}^{ij} \succ v_{j_2}^{ij} \succ \dots \succ v_{j_t}^{ij}$, $j_q \in \{1, 2, \dots, t\}$, $v_{j_q}^{ij} \in V^{ij}$, $q = \overline{1, t}$. Далі менеджер проєкту підбирає конкретних виконавців і формує робочу групу по кожному робочому пакету. Структура проєкту та динаміка наукової продуктивності виконавців у відповідних предметних просторах є важливим аспектом вибору суб'єктів наукової діяльності, що впливає на продуктивність проєкту в цілому.

5. 3. Експериментальна верифікація розробленого методу

Верифікацію дослідження було проведено у Astana IT University на прикладі формування заявок науково-дослідних робіт на 2021 р. Було створено модуль, що складається з павуків для скрапінгу інформації з міжнародних наукометричних баз та веб-сайтів наукових періодичних видань. Частина наукометричної інформації була отримана вільно для проведення наукового дослідження. База даних вміщує інформацію про більш ніж 56 тис. індивідуальних суб'єктів наукової діяльності та 257 тис. наукових публікацій і постійно поповнюється. Було сформовано множину предметних наукових просторів на основі кластерного аналізу публікацій індивідуальних суб'єктів наукової діяльності та на основі латентного семантичного аналізу. Кластеризація реалізується на основі встановлення метричної відстані між публікаціями суб'єктів наукової діяльності за графом цитування та з врахуванням близькості анотацій наукових публікацій суб'єктів наукової діяльності за методом локально-чутливого гешування. Після кластеризації публікацій здійснено найменування кластерів та побудова предметних наукових просторів. Всього було отримано 211 предметних наукових просторів. Для трьох заявок проєктів було відібрано 4 предметні наукові простори (кластер 1 – Project Development, кластер 2 – Professional Competence, Кластер 3 – Educational Process, кластер 4 – Scientific Activity). В табл. 1 наведено кількісні показники, які отримані в результаті застосування

розробленого методу для вибору виконавців трьох науково-дослідних проєктів. Всіх реальних виконавців проєктів було включено до переліку претендентів.

Таблиця 1

Кількісні показники застосування індивідуально-орієнтованого методу вибору виконавців наукових проєктів

Предметні наукові простори	Клас-тер 1	Клас-тер 2	Клас-тер 3	Клас-тер 4
Кількість публікацій	783	609	1140	505
Загальна кількість науковців у просторі	60	41	95	36
Кількість науковців, які задовольняють критеріям відбору	30	17	39	22
Кількість науковців, які залучені до проєктів	3	4	10	9
Середня позиція у впорядкованому переліку виконавців, які задовольняють критеріям відбору і є реальними виконавцями проєктів	22.8	10.9	31.4	16.5
Середня позиція у впорядкованому переліку виконавців, відібраних за індивідуально-орієнтованим методом	19.3	12.5	21.4	13.0
Середня позиція у впорядкованому переліку за критерієм СВ [36]	18.1	11.2	20.8	13.9
Середня позиція у впорядкованому переліку за критерієм QA [36]	19.9	13.6	23.0	13.2

Для проєктних заявок було виконано порівняння реальних проєктних груп з проєктними групами, що були запропоновані на основі індивідуально-орієнтованого методу вибору виконавців наукових проєктів. Порівняння відбувалось на основі величини ступеня належності виконавця проєкту до відповідного предметного наукового простору (кластери 1–4). Відповідно до розрахованих величин належності формувалася рейтинговий список потенційних виконавців.

Позиція у впорядкованому переліку виконавців, які задовольняють критеріям відбору і залучені виконавцями до проєктів вказує на те, в проєктах загалом беруть участь виконавці з середнім рейтингом в кластерах. Середній відсоток науковців, які задовольняють вимоги менеджерів проєктів за кожним предметним науковим простором складає 46.55 %. Відсоток тих, кого залучають до виконання проєкту з числа відібраних складає 24.07 %. Середня позиція у впорядкованому переліку виконавців, які задовольняють критеріям відбору (табл. 1) є вищою, ніж значення, що відповідає випадково відібраним науковцям з предметних наукових просторів.

Було реалізовано порівняння запропонованих науковців з реальними виконавцями за критеріями СВ і QA, які описані в роботі [36] і для яких є достатньо даних. Було побудовано впорядкований перелік виконавців за вказаними критеріями та на основі індивідуально-орієнтованого методу вибору виконавців наукових проєктів. Застосування розробленого методу дозволяє отримати раціональний перелік виконавців за всіма критеріями, в порівнянні з проєктами, в яких виконавці сформовані іншим методом.

6. Обговорення результатів реалізації розробленого методу

Для визначення переваг суб'єктів, які включаються до предметного наукового простору необхідно застосувати процедуру оцінювання їх продуктивності. Також для розуміння продуктивності суб'єкта наукової діяльності потрібно розуміти його місце в предметному науковому просторі та спрогнозувати зміну продуктивності в майбутньому на основі ретроспективних даних продуктивності для даного суб'єкта. Далі потрібно розв'язати багатокритеріальну задачу вибору серед тих суб'єктів наукової діяльності, які є достатньо продуктивними (всі суб'єкти, продуктивність яких менша деякого порогового значення виключаються з розгляду). Критеріями будуть характеристики суб'єктів, яких потребує особа, яка приймає рішення. Відносно цього формується ієрархія та функціональні обов'язки учасників проєктів. Важливим є те, що метод дозволяє включити до складу предметних наукових просторів тільки тих індивідуальних суб'єктів наукової діяльності, які представлені у наукометричних базах даних. Продуктивність науковців безпосередньо залежить від H-індексу, кількості статей, цитувань тощо. Тобто частина науковців, які не присутні в інформаційному науковому просторі виключаються з розгляду.

Розглянемо ще одне обмеження розробленого методу. Розрахунок прогнозу продуктивності за (1) можливий лише в разі наявної передісторії оцінок продуктивностей для індивідуального суб'єкта наукової діяльності щонайменше для p періодів. Хоча період p може обиратися для (1) не більше 5–7, ті індивідуальні суб'єкти наукової діяльності, які тільки почали публікуватися, можуть до переліку потенційних виконавців не потрапити. Про розрахунок продуктивності суб'єктів наукової діяльності описано в роботах [37, 38]. Про особливості управління науковими та освітніми середовищами, частиною чого є розрахунок оцінок продуктивності науковців та закладів вищої освіти описано детальніше в роботі [39].

При використанні розробленого методу зменшується суб'єктивізм при виборі потенційних партнерів і вибір обґрунтовується раціонально на основі закладених заздалегідь критеріїв. Участь експертів у розв'язанні задачі є мінімальною, а в разі використання єдиного критерію продуктивності наукової діяльності, є непотрібною.

Можна підсумувати, що розроблений метод має переваги в тому, що заснований на індивідуальній оцінці продуктивності науковця як потенційного виконавця проєкту. При виборі колективного суб'єкта наукової діяльності до складу проєктного консорціуму ключову роль відіграє індивідуально науковець, як співробітник відповідного закладу чи установи, з його динамікою наукової активності у відповідному предметному науковому просторі. Слід зазначити, що для обґрунтування коректності вибору виконавців проєктів необхідно провести керований експеримент на основі розробленого методу з достатньо великою вибіркою проєктних заявок. Це необхідно виконати з врахуванням двох контрольних групи для тих самих заявок, в одній з яких відбір здійснюється за розробленим методом, а в іншій на основі вибору менеджера. Але це складна задача фінансової та організаційної точки зору. Провести порівняльний аналіз з іншими дослідженнями відбору виконавців проєктів складно через різний набір проєктів, що є унікальними і виконувати їх повторно немає сенсу.

7. Висновки

1. Виконано аналіз основних факторів, що визначають вибір потенційних виконавців до складу наукових та освітніх проєктів. Описано функціональні обов'язки учасників проєктів відповідно до структури проєктів, на основі якої забезпечується розв'язання задачі вибору наукових партнерів. Наголошено на особливостях відбору виконавців проєктів різних категорій. Вказано, що відбір наукових співробітників пов'язаний зі складнощами, що має враховувати оцінки продуктивності наукової діяльності протягом певного періоду.

2. Встановлено значущість структури проєкту та динаміки наукової продуктивності у відповідних предметних просторах для вибору суб'єктів наукової діяльності. Розроблено індивідуально-орієнтований метод вибору наукових партнерів, що враховує структуру проєкту: вибір виконавців для кожного пакету проєкту окремо, відповідно до оцінок продуктивності виконавців у предметних просторах, які відповідають спрямуванню пакету. Використання розробленого методу дозволяє зменшити суб'єктивний вплив на прийняття рішення щодо вибору виконавців проєкту керуючись тільки відкритими джерелами інформації з продуктивністю потенційних виконавців, їх компетентністю тощо. Такий підхід є раціональним з точки зору досягнення максимальної якості і результативності наукового та освітнього проєкту, що реалізується.

3. За результатами експериментальної верифікації індивідуально-орієнтованого методу вибору суб'єктів наукової діяльності показано, що середній відсоток науковців, які задовольняють вимоги менеджерів проєктів за кожним предметним науковим простором складає близько 46.55 %. Відсоток тих, кого залучають до виконання проєкту з числа відібраних складає близько 24.07 %. Ймовірність співпраці вища серед тих, хто має середній H-індекс. Щодо ефективності виконання відібраними учасниками науково-дослідних проєктів можна буде говорити по їх завершенні або за результатами звітності. Було реалізовано порівняння запропонованих науковців з реальними виконавцями за трьома критеріями. Застосування розробленого методу дозволяє отримати раціональний перелік виконавців за всіма критеріями.

References

1. Bogers, M., Chesbrough, H., Moedas, C. (2018). Open Innovation: Research, Practices, and Policies. *California Management Review*, 60 (2), 5–16. doi: <http://doi.org/10.1177/0008125617745086>
2. Beck, S., Bergenholtz, C., Bogers, M., Brasseur, T.-M., Conradsen, M. L., Di Marco, D. et. al. (2020). The Open Innovation in Science research field: a collaborative conceptualisation approach. *Industry and Innovation*, 1–50. doi: <http://doi.org/10.1080/13662716.2020.1792274>
3. Kazakovtsev, V., Oreshin, S., Serdyukov, A., Krasheninnikov, E., Muravyov, S., Bezzvinnyi, A. et. al. (2020). Recommender system for an academic supervisor with a matrix normalization approach. *2020 International Conference on Control, Robotics and Intelligent System*. doi: <http://doi.org/10.1145/3437802.3437817>

4. Bushuyev, D., Bushuieva, V., Kozyr, B., Ugay, A. (2020). Erosion of competencies of innovative digitalization projects. *Scientific Journal of Astana IT University*, 1, 70–83. doi: <http://doi.org/10.37943/aitu.2020.1.63658>
5. Sihombing, D. I., Sitompul, O. S., Sutarman, Nababan, E. (2018). Combining the use of analytical hierarchy process and lexicographic goal programming in selecting project executor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 420. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/420/1/012113>
6. Chu, X. N., Tso, S. K., Zhang, W. J., Li, Q. (2000). Partners Selection for Virtual Enterprises. *Proceedings of the 3th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 164–168. doi: <http://doi.org/10.1109/wcica.2000.859940>
7. Al-Khalifa, A. K., Eggert Peterson, S. (1999). The partner selection process in international joint ventures. *European Journal of Marketing*, 33 (11/12), 1064–1081. doi: <http://doi.org/10.1108/03090569910292276>
8. Feng, W. D., Chen, J., Zhao, C. J. (2000). Partners Selection Process and Optimization Model for Virtual corporations Based on Genetic Algorithms. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 40, 120–124.
9. Zhong, Y., Jian, L., Zijun, W. (2009). An integrated optimization algorithm of GA and ACA-based approaches for modeling virtual enterprise partner selection. *ACM SIGMIS Database: The DATABASE for Advances in Information Systems*, 40 (2), 37–56. doi: <http://doi.org/10.1145/1531817.1531824>
10. Schall, D. (2014). A multi-criteria ranking framework for partner selection in scientific collaboration environments. *Decision Support Systems*, 59, 1–14. doi: <http://doi.org/10.1016/j.dss.2013.10.001>
11. Wagner, C. S., Leydesdorff, L. (2005). Network structure, self-organization, and the growth of international collaboration in science. *Research Policy*, 34 (10), 1608–1618. doi: <http://doi.org/10.1016/j.respol.2005.08.002>
12. Fu, F., Hauert, C., Nowak, M. A., Wang, L. (2008). Reputation-based partner choice promotes cooperation in social networks. *Physical Review E*, 78 (2). doi: <http://doi.org/10.1103/physreve.78.026117>
13. Kleinberg, J. M. (1999). Authoritative sources in a hyperlinked environment. *Journal of the ACM*, 46 (5), 604–632. doi: <http://doi.org/10.1145/324133.324140>
14. Page, L., Brin, S., Motwani, R., Winograd, T. (1999). The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web. Available at: <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/>
15. Haveliwala, T. H. (2002). Topic-sensitive PageRank. *Proceedings of the 11th International Conference on World Wide Web – WWW '02*. New York, 517–526. doi: <http://doi.org/10.1145/511446.511513>
16. Xu, H., Kuchansky, A., Biloshchytska, S., Tsiutsiura, M. (2021). A Conceptual Research Model for the Partner Selection Problem. *2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. doi: <http://doi.org/10.1109/sist50301.2021.9465931>
17. Yershov, S. V., Ponomarenko, R. M. (2018). Parallel Fuzzy Inference Method for Higher Order Takagi–Sugeno Systems. *Cybernetics and Systems Analysis*, 54 (6), 1003–1012. doi: <http://doi.org/10.1007/s10559-018-0103-3>

18. Wang, D., Yang, X.C., Wang, G.R. (2002). Implementation of Partner Selection in Virtual Enterprise Based on Fuzzy-AHP. *Journal of Northeastern University*, 21 (6), 606–609.
19. Lizunov, P., Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Biloshchytska, S. (2019). Improvement of the method for scientific publications clustering based on n-gram analysis and fuzzy method for selecting research partners. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (100)), 6–14. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175139>
20. Li, B., Zhang, J. (2021). A Cooperative Partner Selection Study of Military-Civilian Scientific and Technological Collaborative Innovation Based on Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Set. *Symmetry*, 13 (4), 553. doi: <http://doi.org/10.3390/sym13040553>
21. Gladka, M., Kravchenko, O., Hladkyi, Y., Borashova, S. (2021). Qualification and Appointment of Staff for Project Work in Implementing IT Systems Under Conditions of Uncertainty. 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). doi: <http://doi.org/10.1109/sist50301.2021.9465897>
22. Kolomiets, A., Morozov, V. (2020). Investigation of Optimization Models in Decisions Making on Integration of Innovative Projects. *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making*, 51–64. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-030-54215-3_4
23. Boyko, R., Shumyhai, D., Gladka, M. (2016). Concept, Definition and Use of an Agent in the Multi-agent Information Management Systems at the Objects of Various Nature. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 59–63. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-319-48923-0_8
24. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Omirbayev, S., Mukhatayev, A., Faizullin, A., Toxanov, S. (2021). Development of the set models and a method to form information spaces of scientific activity subjects for the steady development of higher education establishments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (2 (111)), 6–14. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233655>
25. Kuchansky, A., Biloshchytskyi, A., Andrashko, Y., Biloshchytska, S., Honcharenko, T., Nikolenko, V. (2019). Fractal time series analysis in non-stationary environment. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, 236–240. doi: <http://doi.org/10.1109/picst47496.2019.9061554>
26. Mulesa, O., Geche, F., Batyuk, A., Myronyuk, I. (2018). Using a system approach in the process of the assessment problem analysis of the staff capacity within the health care institution. *IEEE Conference: Computer science and information technologies (CSIT 2018)*, 177–180. doi: <http://doi.org/10.1109/stc-csit.2018.8526749>
27. Mulesa, O., Geche, F., Voloshchuk, V., Buchok, V., Batyuk, A. (2017). Information Technology for time series forecasting with considering fuzzy expert evaluations. *IEEE Conference: Computer Science and Information Technologies*, 105–108. doi: <http://doi.org/10.1109/stc-csit.2017.8098747>

28. Mulesa, O., Geche, F. (2016). Designing fuzzy expert methods of numeric evaluation of an object for the problems of forecasting. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (4 (81)), 37–43. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.70515>
29. Chen, L., Jagota, V., Kumar, A. (2021). Research on optimization of scientific research performance management based on BP neural network. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. doi: <http://doi.org/10.1007/s13198-021-01263-z>
30. Liu, L., Ran, W. (2019). Research on supply chain partner selection method based on BP neural network. *Neural Computing and Applications*, 32 (6), 1543–1553. doi: <http://doi.org/10.1007/s00521-019-04136-6>
31. Han, J., Teng, X., Cai, X. (2019). A novel network optimization partner selection method based on collaborative and knowledge networks. *Information Sciences*, 484, 269–285. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.072>
32. Wi, H., Oh, S., Mun, J., Jung, M. (2009). A team formation model based on knowledge and collaboration. *Expert Systems with Applications*, 36 (5), 9121–9134. doi: <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.12.031>
33. Lungeanu, A., Huang, Y., Contractor, N. S. (2014). Understanding the assembly of interdisciplinary teams and its impact on performance. *Journal of Informetrics*, 8 (1), 59–70. doi: <http://doi.org/10.1016/j.joi.2013.10.006>
34. Lungeanu, A., Sullivan, S., Wilensky, U., Contractor, N. S. (2015). A computational model of team assembly in emerging scientific fields. 2015 Winter Simulation Conference (WSC). doi: <http://doi.org/10.1109/wsc.2015.7408559>
35. Lungeanu, A., Carter, D. R., DeChurch, L. A., Contractor, N. S. (2018). How Team Interlock Ecosystems Shape the Assembly of Scientific Teams: A Hypergraph Approach. *Communication Methods and Measures*, 12 (2-3), 174–198. doi: <http://doi.org/10.1080/19312458.2018.1430756>
36. Wang, Q., Ma, J., Liao, X., Du, W. (2017). A context-aware researcher recommendation system for university-industry collaboration on R&D projects. *Decision Support Systems*, 103, 46–57. doi: <http://doi.org/10.1016/j.dss.2017.09.001>
37. Lizunov, P., Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Biloshchytska, S. (2020). The use of probabilistic latent semantic analysis to identify scientific subject spaces and to evaluate the completeness of covering the results of dissertation studies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (4 (106)), 21–28. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209886>
38. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Andrashko, Y., Mukhatayev, A., Toxanov, S., Faizullin, A. (2020). Methods of Assessing the Scientific Activity of Scientists and Higher Education Institutions. 2020 IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT), 162–167. doi: <http://doi.org/10.1109/atit50783.2020.9349348>
39. Biloshchytskyi, A., Kuchansky, A., Paliy, S., Biloshchytska, S., Bronin, S., Andrashko, Y. et. al. (2018). Development of technical component of the methodology for project-vector management of educational environments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (2 (92)), 4–13. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126301>