



Порівняння методик ранжування науковців на основі індексів Гірша та PageRank: суперечливі ситуації

Григорій Гнатієнко¹

orcid.org/0000-0002-0465-5018

Олексій Олецький²

orcid.org/0000-0002-0553-5915

¹Факультет інформаційних технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка²Факультет інформатики, Національний університет "Києво-Могилянська Академія", Україна

Анотація. У статті описуються результати експериментального порівняння методик оцінювання та ранжування науковців і дослідників на основі їх публікаційної активності. Порівнюються наукометричні індикатори на основі індексів Гірша та PageRank-подібних алгоритмів; при цьому використовується матриця посилань між статтями, написаними різними авторами. Наводиться приклад ситуації, коли застосування різних методик приводить до протилежних результатів - наприклад, коли автори статей, які отримали найкращі оцінки за PageRank, мають найнижчі (тобто найгірші) індекси Гірша. Описана ситуація характеризується тим, що деякий автор отримав ключовий результат, на який посилаються всі інші автори, але самих статей у нього мало, а також з можливими посиланнями в роботі такого автора, статті якого мають високий рівень цитування. Робиться також спроба співставлення результатів з можливими результатами експертного оцінювання, яке має особливе значення при побудові автоматизованих систем, що базуються на комбінуванні різних методик оцінювання. Розглядається можливе застосування методу аналізу ієрархій. Для побудови матриць попарних порівнянь використовуються транзитивні шкали з параметром, який задає відношення переваги між градаціями у параметризованому вигляді.

Ключові слова наукометрія, індекс Гірша, PageRank, метод аналізу ієрархій.

Abstract. Experiments aimed at comparing different methods of estimating and ranking scientists and researchers on the base of their publication activity are reported. Scientometric indicators based on h-index and PageRank are being compared. For such a comparison, a graph of citations represented by a matrix was applied. An example when different methods lead to opposite results was described. For example, authors having the best PageRank-based estimations may have the least h-indices. Such a situation is possible when a high-cited author managed to obtain a key result cited by all the other authors but this author has few papers. A comparison with methods of expert estimations was carried out, which appears to be very useful for building automated systems combining various methods of algorithmic estimating and ranking. The Analytic Hierarchy Process was applied. For building pairwise comparison matrices, transitive scales with a parameter representing how much times the next level of advantage is bigger than the previous one were harnessed.

Keywords - scientometrics, h-index, PageRank, Analytic Hierarchy Process

Для цитування (For citation): Г.Гнатієнко, О.Олецький. "Порівняння методик ранжування науковців на основі індексів Гірша та PageRank: суперечливі ситуації." *Сучасні інформаційні технології*, vol.1, pp. 39-44, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17721/AIT.2021.1.05>

ВСТУП

Проблеми оцінювання результативності наукової роботи протягом багатьох століть привертала увагу вчених усього світу. Сьогодні особливо інтенсивно розвиваються методи наукометрії, які використовуються, зокрема, для оцінювання та ранжування науковців і дослідників, наукових та освітніх інституцій, наукових журналів відповідно до їх здобутків, зокрема на основі наявних статей. При цьому за основу беруться такі показники, як кількість статей, кількість посилань на них тощо. На основі цього для кожного дослідника може бути розрахований його індекс Гірша, або h-індекс [1], який відноситься до так званих author-level metrics [2].

Індекс Гірша прийнято розглядати як один з основних наукометричних показників для порівняння науковців між собою. Він має ряд позитивних рис, але, як і інші наукометричні показники, має також і суттєві недоліки. Існує ряд його модифікацій, а також пропозицій щодо альтернативних показників. Слід зазначити, що в дослідженні різних методик ранжування та порівняння на основі наукометричних показників домінують евристичні підходи, у яких суттєву роль при співставленні та ранжуванні досягнень науковців відіграють суб'єктивні чинники – введені для аналізу евристики. Кожний показник має свої переваги та недоліки, і не можна однозначно сказати, який з цих показників приводить до кращих результатів.



Цікавими є ситуації, коли застосування різних методик приводить до протилежних результатів. У цій роботі наводиться один з таких прикладів, отриманий в ході експериментального порівняння методик ранжування на основі індексу Гірша та на основі алгоритму PageRank [3, 4]. Здійснюється також співставлення цих результатів з можливими результатами експертного оцінювання на основі побудови матриць попарних порівнянь.

МЕТА РОБОТИ

Дослідження ранжування результативності науковців за їхніми науковими працями та посиланнями на них на основі застосування різних методик оцінювання. Співставлення одержаних результатів та генерування висновків щодо напрямків узгодження різних підходів та їх комбінацій.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Нехай задано такі величини:

A - множина авторів;

S - множина статей;

$G(a)$ - множина статей, написаних автором

a ;

$Q(a) = |G(a)|$ - кількість статей, написаних

автором a ;

$K(s)$ - кількість посилань на статтю s ;

$C(a)$ - кількість посилань на всі статті автора

a ;

$H(a)$ - індекс Гірша автора a .

Необхідно дослідити публікаційну активність авторів та їхні показники цитованості на основі різних підходів. Зокрема, для здійснення цього є сенс застосувати h -індекс (індекс Гірша) та алгоритми PageRank.

ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ТЕМАТИКОЮ

У наукових дослідженнях за ступенем складності прийнято розрізняти структуровані, слабкоструктуровані та неструктуровані проблеми. Для підвищення рівня структурованості проблеми застосовуються різні підходи та прийоми. Зокрема, практикується упорядкування об'єктів, які досліджуються, сприяє структуризації проблеми. Відтак це розкриває можливості для поглибленого вивчення та застосування більш досконалих та обґрунтованих математичних методів.

Однак у задачах, де присутня суб'єктивна складова, завжди існують ситуації, які можуть привести до протилежних результатів. У цій

статті розглядається ситуація, яка демонструє можливості одержання діаметрально протилежних результатів при застосуванні різних евристик. Прийняття рішень на основі застосування такого роду аналізу має бути ретельно зваженим та всебічно дослідженим.

Тому підвищення рівня структурованості проблеми полягає не тільки в упорядкуванні альтернати, але і у дослідженні та порівнянні евристик, які застосовуються для досягнення цієї мети. Зокрема, перспективним також є використання комплексних підходів з урахуванням співставлення евристик та урахування їхніх особливостей.

Проблема, яка розглядається у цій статті, є міждисциплінарною. Для її вирішення слід залучити інструментарій кількох наукових напрямків:

- дослідження наукового простору і, зокрема, наукометричні дослідження;

- експертні технології у цілому і задачі ранжування альтернатив та визначення їх ваги, зокрема;

- застосування методів багатокритеріальної оптимізації тощо.

Науковим простором є множина структурно упорядкованих об'єктів, яку можна представити моделлю, що відображає структуру групування та упорядкування елементів цього простору [5, 6]. Епоха цифровізації, у якій ми живемо, вимагає від наукової спільноти сприйняття ідеї наукометричності та широкого застосування її у науковій діяльності [7, 8].

Досить поширеною думкою є ідея про те, що мірою корисності публікації є її цитованість [9, 10]. На основі цього постулату виділяється група показників, які використовують кількість публікацій науковця та кількість цитувань цих публікацій. Серед наукометричних показників особливо виділяється індекс Гірша. Наприклад, у роботі [11] виділяється 12 «гіршоподібних» наукометричних показників.

Слід зазначити, що при вивченні інформації, яка стосується наукових досліджень та при її аналізі на сучасному етапі найчастіше застосовуються методи математичної статистики. Для підвищення рівня досліджень слід розробити відповідні математичні моделі та застосовувати у цій галузі методи теорії прийняття рішень, методи розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації, експертні технології, «м'які» обчислення тощо.



МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Зазначимо, що

$$C(a) = \sum_{s \in G(a)} K(s)$$

(принаймні в найпростішому випадку). Можна розглядати не просто кількість посилань, а кількість статей, з яких є посилання на статті автора, але це є окремим питанням.

Автор a має індекс Гірша r (тобто $H(a) = r$), якщо він має r публікацій, на кожен з яких є не менше ніж r посилань. При цьому вважається, що наявність посилань свідчить про достатньо високу якість статті та її важливість для відповідного наукового напрямку. Значну роль відіграє і авторитет автора статті.

Неявно враховується і кількість статей, оскільки очевидно, що

$$\forall a: H(a) \leq Q(a). \quad (1)$$

Але тут є принципове обмеження, яке має місце при досягненні рівності, у яку може перетворитися нерівність (1):

$$H(a) \leq Q(a). \quad (2)$$

Для ситуації, яка виражена рівністю (2), подальше збільшення кількості посилань, хоч воно саме по собі є позитивним фактором, на зростання індексу Гірша вже не впливає. Якість відповідних статей, так само як і якість посилань на них, враховується недостатньо.

Алгоритм PageRank [3, 4] був успішно застосований в Google для ранжування веб-сторінок. Але він може бути застосований для ранжування вузлів довільного графа на основі аналізу зв'язків між ними.

Базовий варіант алгоритму може бути охарактеризований наступним чином.

Нехай є n вузлів (вершин графа); граф вважаємо орієнтованим. Нехай граф задається - матрицею суміжностей M , елементи якої отримуються за таким принципом:

$$M_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й вузол посилається на } j\text{-й,} \\ 0 & \text{- в іншому випадку,} \end{cases} \quad (3)$$

$i, j = 1, \dots, n.$

На основі матриці M з елементами виду (3) будується матриця перехідних ймовірностей P (тут ми дотримуємося стандартної ймовірнісної термінології, пов'язаної з випадковим блуканням та відповідним марковським ланцюгом, хоча з тим же успіхом можна розглядати і неймовірнісні інтерпретації):

$$P_{ij} = (1 - \alpha) / n + \alpha \cdot r_{ij},$$

$$r_{ij} = M_{ij} / s_i, \quad i, j = 1, \dots, n,$$

де s_i - кількість вихідних дуг з i -ї вершини;

α - деяке задане значення;

$0 < \alpha < 1$ - параметр алгоритму; зокрема при ранжуванні веб-сторінок часто приймається $\alpha = 0.85$.

Можна сказати, що сформульований таким чином класичний алгоритм PageRank враховує не тільки кількість посилань на вузол, але й вагу цих посилань: посилання від вузлів з більш високим рангом мають більшу вагу.

В нашій задачі вузлами графа виступають статті (це відрізняється, зокрема, від роботи [2], в якій вузли відповідають авторам). Відповідно, $M_{ij} = 1$, якщо стаття s_i посилається на статтю s_j .

Тоді, очевидно, що

$$K(s_j) = \sum_{i=1}^n M_{ij}. \quad (4)$$

Описана методика призначена для ранжування статей на основі значень (4). Але зрозуміло, що її з очевидними модифікаціями можна використати і для оцінювання та ранжування авторів цих статей. Так, оцінка автора $V(a)$ може бути отримана на основі оцінок його статей $v(s_1), v(s_2), \dots$ наприклад, за однією з формул:

$$V(a) = \max_{s \in G(a)} v(s) \quad (5)$$

(оцінка найкращої статті автора) або

$$V(a) = \sum_{s \in G(a)} v(s) / |G(a)|. \quad (6)$$

(середня оцінка за усіма статтями автора).

Крім формул (5) та (6) може бути використана і комбінована оцінка автора на основі обчислення зваженої суми

$$V(a) = \sum_{s \in G(a)} \rho(s) v(s), \quad (7)$$

тобто коли різним статтям авторів будуть приписуватися різні ваги $\rho(s)$ в залежності від їх рангів. Втім, приклад, наведений у статті, буде носити досить базовий характер, і для цих цілей конкретна формула виду (5), (6) чи (7) не буде мати особливого значення.



ПОРІВНЯННЯ ПІДХОДІВ ТА ЕКСПЕРТНЕ ОЦІНЮВАННЯ

Розглянемо конкретний приклад, який ілюструє описані вище підходи. Цей приклад ілюструє ситуацію суперечності, коли автор статті, найкращої за критерієм PageRank, отримує найменший індекс Гірша.

Нехай перший автор є автором ключової, тобто найбільш важливої статті, результати якої використовують інші автори, і відповідно на яку є посилання з усіх інших статей. Але він є автором лише однієї статті, і тому його індекс Гірша не може бути більшим за 1. Статті ж інших авторів мають посилання одна на іншу.

У цьому прикладі є 4 автори, 9 статей. Статті розподіляються між авторами наступним чином (тут нумерація починається з 0):

$$G(0) = \{0\}, G(1) = \{1,8\}, G(2) = \{2,3,4\}, \\ G(3) = \{5,6,7\}.$$

Таким чином,

$$Q(0)=1, Q(1)=2, Q(2)=Q(3)=3.$$

Граф, який задає структуру посилань з однієї статті на іншу, задається наступною матрицею суміжності:

$$M = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Для параметру α візьмемо одне з типових значень: $\alpha = 0.85$.

Міри важливості вузлів (статей), розраховані за алгоритмом PageRank, мають вигляд:

$$\begin{matrix} 0.3431 & 0.3207 & 0.0509 & 0.0509 & 0.0509 \\ 0.0518 & 0.0518 & 0.0509 & 0.0292 & \end{matrix}$$

Таким чином, 0-а стаття (вона ж єдина стаття 0-го автора) отримує перевагу за PageRank, як і слід було чекати. На цьому ж прикладі можна подивитися підвищення ваги наступної статті за рахунок того, що на неї посилається найкраща. Хоча слід зазначити, що в цьому випадку таке підвищення може не розглядатися як особливо заслуженим (не

виключена ситуація, що автор цієї статті міг якось домовитися з автором найкращої статті).

На цій основі можна розрахувати оцінки авторів. Так, якщо оцінку автора обчислювати як максимум оцінок окремих статей, маємо:

$$V(0)=0.3431, V(1)=0.3207, V(2)=0.0059, \\ V(3)=0.0518.$$

Але значення індексів Гірша авторів є наступними:

$$H(0) = 1, H(1) = 2, H(2) = 3, H(3) = 3.$$

Таким чином, експеримент показує, що автори двох статей, які отримали найвищі (тобто найкращі) оцінки за PageRank, мають найнижчі (тобто найгірші) індекси Гірша.

В подібних ситуаціях часто буває доцільним залучати до розгляду методики експертного оцінювання [12, 18 та ін.]. Співставлення результатів роботи різних алгоритмів може виявитися корисним в ситуаціях, коли доводиться робити висновки, які методики автоматизованого алгоритмічного оцінювання заслуговують на більшу довіру - або, можливо, навпаки.

Особливу увагу в цьому контексті слід звернути на метод попарних порівнянь, який часто використовується в рамках методу аналізу ієрархій Сааті [13, 14 та ін.].

У прикладі, що розглядається, видаються обґрунтованими наступні міркування експертів. Ймовірно, що вони б надали перевагу першому (0-му) автору, оскільки на його роботу спираються всі інші автори. Наступні два автори могли б розглядатися як рівнозначні. Останній мав би отримати найгіршу оцінку - оскільки на його роботи немає ніяких посилань, крім самоцитуння та сумнівного посилання від 0-го автора.

Матриця попарних порівнянь в такій ситуації могла б мати такий вигляд:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}.$$

Для елементів цієї матриці, відповідно до стандартного підходу, значення 2 означає мінімальну перевагу одного варіанту над іншим, 3 - дещо більш виражену перевагу). Ряд авторів звертали увагу на те, що застосування саме такої шкали градацій не завжди приводить до гарних результатів, зокрема через те, що розкид між максимальною та мінімальною оцінкою може



вийти надто великим, і в таких випадках може виявитися доцільним застосування так званих транзитивних шкал [14-16 та ін.]. Для транзитивних шкал вводиться деякий параметр τ , який визначає, наскільки наступний рівень градацій порівняння є більшим за попередній. Наприклад, якщо рівнозначність альтернатив оцінюється значенням 1, а мінімальний рівень переваги оцінюється як τ , то наступна градація переваг буде оцінена як τ^2 , і т.д. Але це питання заслуговує на окремий розгляд.

Зазначимо, що для оцінки переваг між варіантами може бути застосована шкала Томаса Саати з градаціями (1, 3, 5, 7, 9) або шкала оцінки задач, яка використовується у методології Agile з градаціями (1, 2, 3, 5, 8, 13, 21). Але дослідження застосування різних типів шкал не є предметом цієї статті і може бути здійснене у подальшому в окремій роботі.

Для наведеної матриці попарних порівнянь її нормалізований головний власний вектор, кожна компонента якої є оцінкою відповідного автора, дорівнює

$$0.4236 \quad 0.2270 \quad 0.2270 \quad 0.1223.$$

Таким чином, 0-й автор перемагає, і з цієї точки зору оцінки на основі PageRank виявляються ближчими до результатів експертного оцінювання порівняно з оцінками на основі аналізу індексів Гірша.

Проілюструємо також можливе використання параметризованих транзитивних шкал. Параметризована матриця попарних порівнянь для нашого прикладу могла б мати вигляд

$$\begin{pmatrix} 1 & \tau & \tau & \tau^2 \\ \frac{1}{\tau} & 1 & 1 & \tau \\ \frac{1}{\tau} & 1 & 1 & \tau \\ \frac{1}{\tau^2} & \frac{1}{\tau} & \frac{1}{\tau} & 1 \end{pmatrix}.$$

При $\tau = 1.1$ вектор оцінок буде складатися з елементів, які мають такі значення:

$$0.2744 \quad 0.2494 \quad 0.2494 \quad 0.2268.$$

Таким чином, при зменшенні τ розкид між оцінками суттєво зменшився. Вибір параметра τ може мати суттєве значення для застосування алгоритмів оцінювання. Деякою мірою питання про вибір τ обговорювалося в [16] для задачі автоматизованого оцінювання студентських учбових проектів. Але, взагалі кажучи, питання застосування транзитивних шкал і вибору

параметра τ , зокрема, для аналізу наукометричних даних заслуговує на окремий розгляд.

ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для детальнішого співставлення евристик, які застосовуються у наукометричних дослідженнях, слід додатково дослідити різні підходи та співставити результати не лише у двох описаних напрямках, але порівняти більш широке коло інструментів, які застосовуються дослідниками.

Слід також запропонувати критерії вибору інструментальних засобів для наукометричних досліджень, виявити позитивні та негативні риси евристик, які застосовуються. евристик може давати синергетичний ефект.

ВИСНОВКИ

Застосування єдиного критерію у наукометричних дослідженнях є зручним інструментом, але часто – не репрезентативним та однобічним. Цей інструмент у багатьох практичних ситуаціях не відображує належною мірою переможців серед науковців, і лише висвітлює одну грань наукових досягнень.

Наведений приклад експериментально підтверджує, що ранжування авторів на основі аналізу індексів Гірша може суттєво відрізнитися від ранжування, отриманих на основі оцінок PageRank для статей і на основі цього – для авторів відповідних статей. Дійсно, експеримент для наведеного прикладу показує, що автори статей, найкращих за PageRank, мають найгірші індекси Гірша.

Але слід зазначити, що ранжування як на основі індексів Гірша, так і на основі PageRank, має свої переваги та недоліки – як, власне, і інші методики. Тому може виявитися доцільним комбінування різних методик – зокрема, шляхом аналізу того, яким чином методики автоматизованого алгоритмічного оцінювання забезпечують дотримання певних принципів та політик оцінювання. Можна, наприклад, говорити про надання окремих методикам певних коефіцієнтів надійності, і про налаштування цих коефіцієнтів на основі застосування тих чи інших процедур машинного навчання, зокрема навчання з підкріпленням [17, 19].

Можна зробити однозначний висновок, що дослідження результативності науковців має бути різнобічним, а застосування інструментів – комплексним. Для порівняння та адекватного комбінування різних методик може виявитися дуже корисним застосування методів експерт-



ного оцінювання; в статті наводиться відповідний приклад. В цьому контексті варто також звернути увагу на роботу [20], в якій ідеться про аналіз різних методик оцінювання дослідників, зокрема на основі використання наукометричних показників.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

- [1] J.E. Hirsch, "An index to quantify an individual's scientific research output", *PNAS*, vol.102 (46), pp.16569–16572, 2005.
- [2] J.D. West, M.C. Jensen, R.C. Dandrea, G.J. Gordon, C.T. Bergstrom. "Author-level Eigenfactor metrics: Evaluating the influence of authors, institutions, and countries within the social science research network community", *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol.64(4), pp.787–801, 2013.
- [3] S. Brin, L. Page. "The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine", in *Proc. WWW*, 1998, pp.107-117.
- [4] К.Д. Маннинг, П. Рагхаван, Х. Шютце, *Введение в информационный поиск*, Москва: ООО «И.Д. Вильямс», 2011.
- [5] В.Г. Кремень, В.Ю.Биков, "Категорії «простір» і «середовище»: особливості модельного подання та освітнього застосування", *Теорія і практика управління соціальними системами*, no.2, pp.3-16, 2013.
- [6] О.Ю. Кучанський, "Складові аналізу наукових мереж", *Управління розвитком складних систем*, no.41, pp.115-126, 2020.
- [7] А.В. Кільченко, "Вітчизняний та зарубіжний досвід використанні інформаційно-цифрових технологій для оцінювання результативності науково-педагогічних досліджень", in *Звітна науково-практична конференція Інституту інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України : матеріали науково-практичної конференції*, 2021, pp.48-54.
- [8] В.Ю. Биков, О.М. Спірін, А.О. Білощицький. та ін., "Відкриті цифрові системи в оцінюванні результатів науково-педагогічних досліджень", *Інформаційні технології і засоби навчання*, vol.75(1), pp.294-315, 2020.
- [9] В.М. Горючий, "Критерії якості наукових досліджень у контексті забезпечення національних інтересів", *Вісник Національної академії наук України*, no.6, pp.74-80, 2015.
- [10] О.М. Спірін., С.М. Іванова., А.В. Кільченко, Т.Д. Новицька, "Використання наукометричних баз даних і систем вебаналітики для моніторингу електронних наукових фахових видань", *Інформаційні технології в освіті*, vol.45(4), pp.18-30, 2020.
- [11] С.Д. Штовба, Е.В.Штовба, "Обзор наукометрических показателей для оценки публикационной деятельности ученого", *Управление большими системами. Спец. вып. 44: Наукометрия и экспертиза в управлении наукой*, pp.262-278, 2013.
- [12] В.Є. Снитюк, Г.М. Гнатієнко, *Експертні технології прийняття рішень*, Київ: Маклаут, 2008.
- [13] Т. Саати, *Принятие решений. Метод анализа иерархий*, Москва: Радио и связь, 1993.
- [14] И.Г. Черноуцкий. *Методы принятия решений*, Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005.
- [15] O.V. Oletsky, E.V. Ivohin, "Formalizing the Procedure for the Formation of a Dynamic Equilibrium of Alternatives in a Multi-Agent Environment in Decision-Making by Majority of Votes", *Cybern Syst Anal*, vol.57, pp.47-56, 2021.
- [16] А.В. Олецкий, М.Ф. Махно, "О повышении уровня адекватности в результатах процесса оценивания учебных проектов на основе параметрической релаксации метода парных сравнений", *Проблемы управления и информатики*, no.1, pp.122-133, 2021.
- [17] С. Рассел., П.Норвиг, *Искусственный интеллект: современный подход*, Москва: Изд. дом «Вильямс», 2006.
- [18] М. Antonewich, А. Didyk, and V. Snytyuk, "Optimization of Functions of Two Variables by Deformed Stars Method," in *Proc. ATIT*, 2019, pp. 475-480.
- [19] С.М. Николенко, А.Л. Тулупьев. *Самообучающиеся системы*, Москва: МЦНМО, 2009.
- [20] Н. Hnatiienko, V. Snytyuk, N. Tmienova, O. Voloshyn, "Determining the effectiveness of scientific research of universities staff" in Selected Papers of the 7th International conference "Information Technology and Interactions" (IT&I-2020). *CEUR Workshop Proceedings*, 2883, 2021, pp. 164–176.
- [21] M. Shell. (2002) IEEEtran homepage on CTAN. [Online]. Available: <http://www.ctan.org/tex-archive/macros/latex/contrib/supported/IEEEtran/>



Григорій Гнатієнко. Кандидат технічних наук. Освіта: Факультет кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Місце роботи: Факультет інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Посада: заступник декана з наукової роботи. Наукові інтереси: обробка експертної інформації, прийняття рішень, інформаційні технології.

Нригорій Hnatiienko. Ph.D. Education: Faculty of Cybernetics, Taras Shevchenko National University of Kyiv. Affiliation: Faculty of Information Technologies of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Position: Deputy Dean for Research. Research interests: processing of expert information, decision making, information technologies.



Олексій Олецкий. Кандидат технічних наук, доцент. Освіта: Факультет кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Місце роботи: Факультет інформатики, Національний Університет «Києво-Могилянська Академія». Посада: Доцент кафедри мультимедійних систем. Наукові інтереси - прийняття рішень, штучний інтелект.

Oleksiy Oletsky. Ph.D, Associate Professor. Education: Faculty of Cybernetics, Taras Shevchenko National University of Kyiv. Affiliation: Faculty of Informatics, National University of Kyiv-Mohyla Academy. Position: Associate Professor. Research interests - decision making, artificial intelligence