

МОДЕЛЬ ТА МЕТОД ОЦІНКИ ТА ВИБОРУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ

Розглянуто основні особливості використання інформаційних систем управління проєктами, які забезпечують централізований доступ до інформації, автоматизують процеси управління ресурсами та дозволяють здійснювати прийняття обґрунтованих стратегічних рішень. Проведено аналіз моделей та методів, які застосовуються для вибору інформаційних систем управління проєктами. На основі проведеного аналізу вимог до подібних систем, обґрунтовано вибір чотирьох критеріїв та тринадцяти підкритеріїв для подальшого їх використання під час вирішення задачі вибору інформаційної системи управління проєктами. Розроблено категорно-множинну модель оцінювання альтернатив інформаційних систем управління проєктами та метод вирішення задачі вибору цих систем на основі методу аналізу ієрархій та сформованих критеріїв. Розглянуто особливості програмної реалізації розробленої моделі та методу і проведено їх експериментальну перевірку на прикладі вибору інформаційної системи управління проєктом згідно з вимогами замовника.

1. Вступ

Правильне планування, контроль та оцінка виконання сучасних проєктів на всіх етапах відіграло величезну роль в успішності і витратоефективності кінцевого продукту. Інформаційні системи управління проєктами (ІС УП) є невід'ємною частиною сучасного бізнесу і відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного планування, контролю та виконання проєктів. Ці системи забезпечують централізований доступ до інформації та автоматизацію процесів управління ресурсами, а також дозволяють здійснювати прийняття обґрунтованих стратегічних рішень. При використанні ІС УП спостерігається підвищення ефективності управління проєктами [1].

Сучасні проєкти стають все складнішими, зокрема, за рахунок участі міжнародних команд та необхідності дотримання складних технічних вимог. Це потребує високого рівня координації та управління, який можуть забезпечити лише сучасні ІС УП. Такі системи потребують сучасних засобів інтенсифікації управління, зокрема, новітніх технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання, великі дані та хмарні обчислення. Ці технології інтегруються в ІС УП, підвищуючи їх ефективність і можливості [2]. Наприклад, штучний інтелект може допомогти у прогнозуванні ризиків і управлінні ресурсами, що є критичним для успішного виконання проєктів [3].

Сучасні ІС УП автоматизують рутинні завдання, зменшуючи ймовірність людських помилок. Цифровізація процесів управління проєктами дозволяє зберігати, обробляти і аналізувати великі обсяги даних, що допомагає у прийнятті обґрунтованих рішень. Окрім того, залучення концепцій «великих даних» в сучасних ІС УП допомагає в вирішенні вже згаданої проблеми збільшення обсягу та складності проєктів з кожним роком [4].

Використання сучасних ІС УП дозволяє значно підвищити ефективність управління ресурсами, продуктивність команди та загальну якість виконання проєктів. Ці системи забезпечують доступ до даних в реальному часі, полегшуючи моніторинг та контроль проєктних показників.

У контексті глобалізації багато компаній працюють з міжнародними проєктами, які потребують злагодженого управління та комунікації між географічно розділеними командами. Сучасні ІС УП забезпечують необхідні інструменти для віддаленої співпраці, підтримки багатомовності та врахування різних часових поясів, а хмарні обчислення та

напрямки їх розвитку впливають на ефективність сучасних ІС УП, особливо в кризових умовах, таких як пандемії та збройні конфлікти [5].

ІС УП надають інструменти для управління ризиками, моніторингу у відповідності до нормативних вимог та забезпечення безпеки даних. Це особливо важливо в умовах постійно зростаючих вимог до конфіденційності та захисту інформації.

Отже, вибір ІС УП з точки зору застосування в них новітніх технологій є важливою та актуальною темою, яка вимагає комплексного підходу та глибокого аналізу для забезпечення успіху проєктів і підвищення конкурентоспроможності організацій.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми дослідження

2.1. Аналіз сучасних моделей та методів, використовуваних для вибору інформаційної системи управління проєктами

Проблема вибору ІС УП стає актуальною в умовах стрімкого розвитку технологій та зростаючої складності проєктів, коли вірний вибір такої системи може визначити успішність управління проєктами та досягнення поставлених цілей. ІС УП необхідність при реалізації проєктів різної направленості, як в багатомільйонному будівництві так і в розвитку сільської місцевості регіонів [6].

Основними проблемами, які виникають при виборі ІС УП, є: різноманітність пропозицій на ринку; недостатнє розуміння потреб організації; складність оцінки функціональних можливостей; висока вартість та фінансові ризики; інтеграція з існуючими системами; складності адаптації персоналу; безпека даних тощо.

Сучасний ринок пропонує велику кількість різноманітних ІС УП, і кожна система має свої унікальні функції, переваги та недоліки, що ускладнює їх вибір. Часто замовники не мають чіткого розуміння своїх специфічних потреб і вимог до ІС УП, що призводить до неправильного вибору системи, яка не відповідає їхнім реальним вимогам.

Оцінка функціональних можливостей різних ІС УП може бути складною через різноманітність функцій та їх реалізації. Це вимагає детального аналізу та тестування кожної подібної системи, що впливає на час її адаптації. Вартість впровадження та експлуатації ІС УП може бути значною. Помилковий вибір системи може призвести до фінансових втрат та невиправданих витрат, особливо якщо не врахувати рівень кваліфікації наявного в організації персоналу. Не всі ІС УП легко інтегруються з існуючими інформаційними системами організації і це може створювати проблеми з обміном даними та злагодженою роботою різних систем. Впровадження нової ІС УП вимагає навчання персоналу, що може бути тривалим і складним процесом. Недостатня підтримка та тренінги можуть знизити ефективність використання системи. Забезпечення безпеки даних є критично важливим аспектом, тому невідповідність системи вимогам безпеки може призвести до втрати даних або витоку конфіденційної інформації.

Застосування методів багатокритеріального аналізу, таких як метод аналізу ієрархій (МАІ), допомагає формалізувати процес вибору подібної системи, врахувати важливість різних критеріїв і забезпечити обґрунтованість прийнятого рішення на їх основі. Врахування відгуків та досвіду користувачів при виборі ІС УП дозволяє виявити потенційні проблеми на ранніх етапах та зробити більш обґрунтоване рішення.

Необхідність вдосконалення процесу вибору ІС УП обумовлена зростанням складності проєктів, вимог до інтеграції, безпеки та ефективності. Використання інноваційних підходів та сучасних технологій дозволяє зробити процес вибору обґрунтованішим, прозорішим та ефективнішим, що, в свою чергу, забезпечить успіх управління проєктами в організації.

Аналіз існуючих методів вибору ІС УП дозволяє встановити можливість їх використання, переваги та недоліки. Звичайне порівняння характеристик, при якому різні

ІС УП порівнюються за задалегідь визначеними критеріями, є легким в застосуванні та не потребує окремих інструментів, обчислень та програмного забезпечення, але характеризується надзвичайно високим рівнем суб'єктивності оцінки та через відсутність формалізації цих процесів може враховувати не важливість різних критеріїв, а лише їх наявність. Таке порівняння розглядається в [7].

Метод анкетування та експертної оцінки, застосування якого забезпечує збирання думок експертів через їх анкетування або інтерв'ювання для оцінки різних ІС УП, враховує досвід та характеризується гнучким підходом до оцінки, але також доволі суб'єктивний та потребує значних часових витрат [8].

Метод бальних оцінок [9] визначає вагу та бали для кожного критерію, що можна використати для обчислення загальної оцінки для кожної ІС УП. Цей метод характеризується формалізованим підходом та можливістю врахування ваги критеріїв, але не враховує взаємозалежності між вагами критеріїв та є доволі суб'єктивним.

Популярний метод SWOT-аналізу дозволяє проводити всебічний погляд на систему її слабкі і сильні сторони, можливості та загрози. Він також враховує зовнішні та внутрішні фактори, але має складність у кількісному вимірюванні результатів та може бути занадто загальним [10].

Метод аналізу ієрархій (MAI) для багатокритеріального прийняття рішень, який включає розбиття проблеми на ієрархії критеріїв та підкритеріїв, є доволі популярним і зарекомендованим методом [11]. Він має формалізований і структурований підхід, враховує ваги критеріїв та підкритеріїв, а також має можливість їх парного порівняння. Серед недоліків застосування методу можна зазначити необхідність великих обчислювальних ресурсів та часу [12]. MAI є особливо корисним для вирішення складних багатокритеріальних задач, таких як вибір ІС УП. Цей метод дозволяє: формалізувати процес прийняття рішення; врахувати важливість кожного критерію через ваги; проводити детальний аналіз за допомогою парних порівнянь, що зменшує суб'єктивність оцінок; забезпечити прозорість та обґрунтованість вибору ІС УП. MAI дозволяє побудувати чітку ієрархію критеріїв, врахувати взаємозалежності між ними та провести комплексний аналіз, що робить його вибір оптимальним для даного дослідження.

2.2. Аналіз та обґрунтування критеріїв вибору інформаційних систем управління проєктами

При аналізі існуючих методів вирішення поставленої проблеми можна виявити безліч підходів до класифікації та оцінки ІС УП. Особливо важливо знайти недоліки в запропонованих моделях та методах для їх вдосконалення. Це дозволить створити пристосованіший до сучасних вимог та викликів метод вибору ІС УП. При цьому найбільшу увагу під час такого пристосування слід приділяти критеріям та їх вибору.

В [13] пропонується здійснення оцінювання та вибору програмних засобів сучасних ІС УП в галузі інформаційних технологій на основі обґрунтування та дослідження критеріїв, таких як кросплатформеність, надійність, універсальність, інтуїтивність інтерфейсу та ціна. Але ця множина критеріїв викликає сумнів з точки зору сучасних умов. Так кросплатформеність в сучасному світі стала стандартом, тому застосування цього критерію не є актуальним. Критерії «Надійність» та «універсальність» можна зараз розглядати не відокремлено один від одного. Критерій «Інтуїтивність інтерфейсу» є доволі проблематичним для оцінювання, оскільки він доволі суб'єктивний. Було б справедливніше розглядати цей критерій з точки зору імплементації ІС УП замінивши його такими критеріями, як «Вартість» та «Тривалість імплементації» ІС УП. Це доволі логічно, оскільки чим менш інтуїтивний інтерфейс, тим більша вартість та тривалість імплементації ІС УП.

У [14] оцінювання ІС УП на основі застосування MAI реалізовано з урахуванням основних функціональних можливостей ІС УП на прикладі 18 комерційних програмних

застосунків. При цьому визначені та використовуються 8 критеріїв, 28 підкритеріїв і 44 підпідкритерії, відносна важливість яких оцінюється за допомогою МАІ. В даному випадку кількість критеріїв доволі велика, але вони сфокусовані на оцінюванні ІС УП з точки зору функціональності та не розглядають інші важливі критерії, які можуть вплинути на вибір ІС УП з інших точок зору, наприклад, вартості. Навіть глибший аналіз в роботі представників Палермського університету не розширює набір критеріїв і продовжує фокусуватися на функціональних критеріях вибору ІС УП [15].

У [16] розглядається метод оцінювання ІС УП, який враховує критерії не тільки функціональності, але й вартості. Критерії вартості є зрозумілими і ефективними для оцінки, але їх кількість, запропонована у [16] замала, тому треба додати до них ще декілька критеріїв та розширити метод. Це може бути основою для подальшого дослідження.

Таким чином, додавання таких критеріїв, «Тривалість адаптації» та «Наявність необхідних кінцевих документів» (ці документи повинні додавати саме ІС УП згідно з вимогами керівного персоналу) зможе вдосконалити метод. Ці додаткові критерії вибрані на основі аналізу існуючих досліджень. Так при аналізі досліджень впливу підготовленості персоналу до імплементації ІС УП при будівництві в Саудівській Аравії [17] було підтверджено, що тривалість адаптації ІС УП є важливим показником, оскільки саме вона опосередковано впливала на швидкість розвитку регіону.

Критерій «Наявність необхідних кінцевих документів» був вибраний на основі двох незалежних досліджень. Одне з них проведене в Ірані шляхом анкетування керівників проєктів в трьох компаніях Тегерану. На основі цього дослідження було розроблено комплексну модель для оцінки впливу ІС УП на функції управління проєктом. Ця модель враховувала вплив п'яти факторів, а саме: якість ІС УП, якість вихідної інформації ІС УП, застосування ІС УП, вплив ІС УП на управління проєктом і вплив ІС УП на успіх проєкту.

Друге дослідження [18] показало, що постійне покращення якості звіту про стан проєкту, який формується із застосуванням ІС УП, є ефективним заходом щодо підвищення якості вихідної інформації. Такі заходи допомогли менеджерам у прийнятті рішень, плануванні, організації та контролі проєкту.

Нідерландські дослідники провели опитування 101 керівника проєкту і зробили висновки [19], що якість інформації, яку надає ІС УП, позитивно пов'язана з якістю рішень та задоволеністю керівників проєктів.

Проведений аналіз сучасних публікацій в галузі вибору ІС УП дозволяє зробити такі висновки:

а) МАІ залишається одним з основних методів, які рекомендується застосовувати для вибору інформаційних систем і, зокрема, ІС УП в умовах багатокритеріального оцінювання подібних систем;

б) не існує єдиного погляду на множину критеріїв вибору ІС УП;

в) сучасні дослідження визнають необхідність застосування під час вибору ІС УП не тільки розповсюджених критеріїв функціональності та вартості, а й критеріїв, що характеризують ступінь імплементації та якість експлуатації ІС УП.

Виходячи з цих висновків, слід сформулювати проблему даного дослідження як проблему розробки формального апарату вирішення задачі вибору ІС УП на замовлення організації, яка бажає використовувати в подальшому цю систему у своїй бізнес-діяльності.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є вирішення задачі вибору ІС УП. При цьому як формальну основу процесу вибору ІС УП пропонується використати МАІ, що дозволить

– формалізувати процес вибору ІС УП шляхом створення чіткої ієрархічної структури критеріїв та підкритеріїв;

– забезпечити об'єктивність і прозорість прийняття рішень, зменшуючи суб'єктивні впливи та помилки;

– підвищити ефективність управління проектами в організації, яка виступає замовником ІС УП, завдяки вибору системи, яка найповніше відповідає специфічним потребам цієї організації;

– підвищити рівень конкурентоспроможності та адаптації до змін процесів організації, яка виступає замовником ІС УП, за рахунок інтеграції у процес вибору ІС УП інноваційних підходів та сучасних технологій.

Для досягнення мети дослідження пропонується вирішити такі задачі:

– обґрунтувати вибір критеріїв та підкритеріїв вибору ІС УП;

– розробити модель оцінювання ІС УП на основі запропонованих критеріїв та підкритеріїв вибору ІС УП;

– розробити метод вибору ІС УП на основі МАІ;

– провести експериментальну перевірку отриманих результатів.

4. Матеріали і методи дослідження

Об'єктом дослідження виступає процес вибору ІС УП для організацій, які використовують управління окремими проектами в своїй бізнес-діяльності. Предметом дослідження виступають критерії, підкритерії, модель і метод вибору ІС УП.

Для формального опису критеріїв та підкритеріїв пропонується застосувати стандартну атрибутивну модель опису кількісних та якісних показників, яка застосована, наприклад, у бібліотеці ІТІЛ, починаючи з версії v. 2 [20]. Ця модель базується на формальному апараті теорії множин і розглядає кожен критерій та підкритерій як множину атрибутів, що визначають найменування, діапазон можливих значень, цільові та порогові значення окремого критерію чи підкритерію тощо. Застосування цієї моделі дозволяє розглядати кожен критерій та підкритерій як окрему структуровану множину.

Використання стандартної моделі опису кількісних та якісних показників, розглянутої у [20], дозволяє використовувати для розробки моделі оцінювання ІС УП формальний апарат теорії категорій структурованих множин. Застосування цього апарату дозволить розробити уніфіковану модель, яка може бути використана, наприклад, для випадків, коли необхідно описати кілька рівнів деталізації похідних критеріїв вибору ІС УП за однаковими формальними правилами.

За результатами проведеного аналізу пропонується покласти до основи процесу вибору ІС УП такий формальний метод, як МАІ. Це метод прийняття рішень, розроблений Томасом Сааті, який допомагає приймати комплексні рішення в умовах багатьох критеріїв та альтернатив. МАІ використовує ієрархічну структуру для розбиття проблеми на простіші компоненти та послідовного оцінювання їх за допомогою парних порівнянь [21].

Основні етапи МАІ включають:

– створення ієрархічної структури: проблема розбивається на головний критерій, підкритерії та альтернативи;

– парні порівняння: експерти порівнюють кожен елемент з іншими елементами у парах та визначають їхню відносну важливість;

– створення матриць порівнянь: оцінки експертів використовуються для створення матриць парних порівнянь для кожного рівня ієрархії;

– розрахунок ваг критеріїв: застосовується метод власних векторів для визначення ваг кожного критерію на основі матриці парних порівнянь;

– контроль консистентності: проводиться перевірка консистентності оцінок експертів для визначення їхньої надійності та уникнення суперечностей.

Варто зауважити, що МАІ не вибирає найкращий варіант серед представлених, він лише

дозволяє структурувати та формалізувати процес прийняття рішень, забезпечуючи об'єктивність та консистентність у визначенні ваг критеріїв та виборі найкращої з альтернатив.

5. Вирішення задачі вибору інформаційної системи управління проектами

5.1. Обґрунтування критеріїв та підкритеріїв вибору інформаційних систем управління проектами

Як свідчить практика, замовник перш за все орієнтується на таку ІС УП, яка б забезпечила підвищення ефективності діяльності підприємства або компанії, отримання швидких результатів від цієї системи при не дуже значній її вартості. Тому як основні критерії вибору конкретної ІС УП, згідно з вимогами замовника, пропонуються такі критерії:

- F – «Функціональність» (F – max);
- C – «Вартість» (C – min);
- T – «Тривалість адаптації» (T – min);
- D – «Наявність необхідних кінцевих документів» (D – max).

Критерій «Функціональність» пропонується декомпонувати на такі підкритерії:

- F_s – «Відповідність специфікаціям проекту»;
- F_i – «Інтегрованість»;
- F_m – «Масштабованість»;
- F_{sc} – «Безпека».

Підкритерій «Відповідність специфікаціям проекту» характеризує ступінь підтримки процесів, необхідних для конкретної організації, засобами ІС УП, а також гнучкість налаштувань системи. Тобто мова йде про наявність всіх необхідних для роботи інструментів та можливості налаштування робочих процесів під особисті уподобання, підтримка користувацьких полів, гнучкість у налаштуванні звітів та інформаційних панелей проектів.

Підкритерій «Інтегрованість» характеризує ступінь використання в межах ІС УП інструментів, необхідних для конкретної організації, таких як інструменти для співпраці команди майбутніх проектів та інструменти для управління ризиками. Цей підкритерій характеризує також ступінь інтеграції ІС УП з іншими інформаційними системами. Мається на увазі, наприклад, інтеграція з ERP-системами такими як SAP, Oracle, з CRM-системами, наприклад Salesforce, з системами управління документацією, такими як SharePoint, Google Drive або інтеграція з фінансовими системами.

Підкритерій «Масштабованість» можливо розглядати у двох аспектах. Одним з цих аспектів є можливість розширення функціональності та підтримка зростання кількості користувачів та обсягу даних. Мається на увазі доступність API для розробки додаткових модулів або підтримка плагінів та розширень для додавання в ІС УП в ході використання. Другий аспект передбачає застосування підкритерію «Масштабованість» для характеристики можливості збільшення кількості нових користувачів системи без значних додаткових витрат та обробки великих обсягів додаткових даних без зниження продуктивності системи. Тобто підкритерій «Масштабованість» пропонується застосовувати для оцінювання можливості розширення функціональних можливостей ІС УП як в плані фізичному, так і організаційному.

Підкритерій «Безпека» характеризує ступінь відповідності ІС УП стандартам безпеки, а також рівень захисту даних. Ця відповідність забезпечується такими механізмами і функціями ІС УП, як шифрування даних при їх передачі та зберіганні; регулярні оновлення інструментів безпеки в середовищі ІС УП, механізм автентифікації та авторизації, механізм двофакторної автентифікації, засоби визначення ролей та прав доступу до проектів в рамках їх виконання в ІС УП; технологія єдиного входу для легшого переходу між ІС УП та системами, вже наявними і використовуваними в організації; механізм відновлення після

збоїв. Під стандартами безпеки розуміємо такі стандарти, як, наприклад, ISO/IEC 27001.

Критерій «Вартість», в свою чергу, пропонується декомпонувати на декілька підкритеріїв, кожен з яких буде відповідати за свою сферу витрат. Наприклад, можна виділити такі три підкритерії:

- *Cs* – «Початкова вартість»;
- *Ce* – «Експлуатаційні витрати»;
- *Ch* – «Приховані витрати».

Підкритерій «Початкова вартість» характеризує ступінь важливості суми вартості ліцензій ІС УП, обладнання та програмного забезпечення, необхідних для використання майбутньої ІС УП в порівнянні з іншими витратами. Іншими витратами є експлуатаційні витрати, які експерти також мають порівняти.

Підкритерій «Експлуатаційні витрати» характеризує витрати на обслуговування та підтримку системи в ході її майбутньої експлуатації (ними можуть бути, наприклад, витрати на майбутню модернізацію і оновлення ІС УП).

Підкритерій «Приховані витрати» характеризує вартість навчання персоналу та вартість адаптації та впровадження ІС УП.

Критерій «Тривалість адаптації» пропонується декомпонувати на такі підкритерії:

- *Ti* – «Час на впровадження»;
- *Tt* – «Час на навчання персоналу»;
- *Te* – «Час на підготовку до експлуатації».

Підкритерій «Час на впровадження» характеризує час на встановлення системи та її інтеграцію з існуючими в компанії системами. Цей підкритерій важливий, оскільки враховує час, необхідний для інтеграції ІС УП в загальну систему конкретного підприємства.

Підкритерій «Час на навчання персоналу» характеризує час, потрібний співробітникам для опанування базового функціоналу ІС УП. Час, необхідний для навчання персоналу, залежить від багатьох факторів, таких як складність матеріалу, кількість персоналу, доступність ресурсів тощо. Зазвичай процес навчання може займати від кількох годин до кількох тижнів.

Підкритерій «Час на підготовку до експлуатації» характеризує час, потрібний на повноцінну інтеграцію ІС УП. Цей час може залежати як від складності системи, так і від якості підтримки від виробника ІС УП.

Критерій «Наявність необхідних кінцевих документів» пропонується декомпонувати на такі підкритерії:

- *Du* – «Наявність документації користувача»;
- *Dt* – «Наявність технічної документації»;
- *Dra* – «Наявність звітів та аналітики».

Підкритерій «Наявність документації користувача» характеризує наявність та якість навчальних матеріалів для користувача ІС УП, наданих її розробниками (такими матеріалами можуть бути посібники, відеоролики, які наглядно пояснюють певні аспекти використання системи, тощо).

Підкритерій «Наявність технічної документації» характеризує наявність більш спеціалізованої інформаційної бази (наприклад, наявність інструкцій для адміністраторів майбутньої ІС УП, технічної специфікації тощо).

Підкритерій «Наявність звітів та аналітики» характеризує ступінь можливості підтримки ІС УП процесів створення стандартних та користувацьких звітів. При цьому системою можуть бути надані як аналітика щодо проєктів, так і можливість створення гнучкіших звітів відповідно до потреб конкретної організації.

5.2. Результати розробки моделі оцінювання інформаційних систем управління проектами

Під час розробки моделі оцінювання ІС УП слід брати до уваги особливості застосування цієї моделі у методі вибору ІС УП на основі МАІ, а саме:

- з одного боку, модель повинна відображувати ієрархію належності множин підкритеріїв до базових критеріїв вибору ІС УП;
- з іншого боку, модель повинна відображати ієрархію використання для опису кожної з альтернатив ІС УП множин значень підкритеріїв вибору цих систем.

Тому пропонується представити модель оцінювання ІС УП як категорію L_o , яка в загальному випадку має вигляд:

$$L_o = [CR, SC, IS, H_{SC}^{CR}, H_{SC}^{IS}], \quad (1)$$

де CR – підмножина об'єктів категорії L_o , яка одночасно є множиною критеріїв вибору ІС УП; SC – підмножина об'єктів категорії L_o , яка одночасно є множиною підкритеріїв вибору ІС УП; IS – підмножина об'єктів категорії L_o , яка одночасно є множиною альтернатив ІС УП, серед яких здійснюється вибір; H_{SC}^{CR} – підмножина морфізмів категорії L_o , яка встановлює між підмножинами CR та SC бінарне відношення еквівалентності; H_{SC}^{IS} – підмножина морфізмів категорії L_o , яка встановлює між підмножинами S та SC бінарне відношення еквівалентності.

Слід зазначити, що кожен критерій $cr_i \in CR$ є фактор-об'єктом для підмножини підкритеріїв $SC_i = (sc_x, \dots, sc_y) \in SC$, а кожен підкритерій $sc_j \in (sc_x, \dots, sc_y) \in SC$, у свою чергу, підоб'єктом критерія $cr_i \in CR$. Кожен елемент множини H_{SC}^{CR} є коконусом морфізмів, який описує еквівалентність підмножини підкритеріїв SC_i кожному конкретному критерію вибору ІС УП $cr_i \equiv SC_i$. Цей коконус морфізмів пропонується описати як підмножину морфізмів

$$H_{SC_i=(sc_x, \dots, sc_y)}^{cr_i} = (h_{sc_x}^{cr_i}, \dots, h_{sc_j}^{cr_i}, \dots, h_{sc_y}^{cr_i}), \quad (2)$$

де кожен елемент $h_{sc_j}^{cr_i} \in H_{SC_i}^{cr_i}$ визначає факт використання підкритерію sc_j як одного з результатів декомпозиції критерію cr_i на підмножину підкритеріїв SC_i .

Кожна альтернатива $is_k \in IS$ ІС УП є фактор-об'єктом для множини підкритеріїв SC , а кожен підкритерій $sc_j \in SC$ є, у свою чергу, підоб'єктом для альтернативи $is_k \in IS$. Це дозволяє представляти будь яку ІС УП, що бере участь у процесі вибору як одна з можливих альтернатив, як сукупність значень підкритеріїв з множини SC , яка, в свою чергу, є еквівалентною усій множині встановлених критеріїв оцінювання ІС УП CR . Тоді кожен елемент множини H_{SC}^{IS} є коконусом морфізмів, який описує еквівалентність множини підкритеріїв SC кожній конкретній альтернативі ІС УП $is_i \equiv IS$. Цей коконус морфізмів пропонується описати як підмножину морфізмів

$$H_{SC}^{is_i} = (h_{sc_a}^{is_i}, \dots, h_{sc_j}^{is_i}, \dots, h_{sc_z}^{is_i}), \quad (3)$$

де кожен елемент $h_{sc_j}^{is_i} \in H_{SC}^{is_i}$ визначає факт використання значення підкритерію sc_j як одного з результатів оцінювання альтернативи is_i .

Для запропонованих у підрозділі 5.1 критеріїв підмножина об'єктів CR буде мати вигляд

$$CR = (F, C, T, D), \quad (4)$$

де F – критерій «Функціональність»; C – критерій «Вартість»; T – критерій «Тривалість адаптації»; D – критерій «Наявність необхідних кінцевих документів».

Підмножина об'єктів SC для запропонованих у підрозділі 5.1 підкритеріїв буде мати вигляд

$$SC = (Fs, Fi, Fm, Fsc, Cs, Ce, Ch, Ti, Tt, Te, Du, Dt, Dra), \quad (5)$$

де Fs – підкритерій «Відповідність специфікаціям проекту»; Fi – підкритерій «Інтегрованість»; Fm – підкритерій «Масштабованість»; Fsc – підкритерій «Безпека»; Cs – підкритерій «Початкова вартість»; Ce – підкритерій «Експлуатаційні витрати»; Ch – підкритерій «Приховані витрати»; Ti – підкритерій «Час на впровадження»; Tt – підкритерій «Час на навчання персоналу»; Te – підкритерій «Час на підготовку до експлуатації»; Du – підкритерій «Наявність документації користувача»; Dt – підкритерій «Наявність технічної документації»; Dra – підкритерій «Наявність звітів та аналітики».

Для критерію F коконус морфізмів $H_{SC_i}^F$, буде описувати таку еквівалентність

$$F \equiv (Fs, Fi, Fm, Fsc). \quad (6)$$

Для критерію C коконус морфізмів $H_{SC_i}^C$, буде описувати таку еквівалентність

$$C \equiv (Cs, Ce, Ch). \quad (7)$$

Для критерію T коконус морфізмів $H_{SC_i}^T$, буде описувати таку еквівалентність

$$T \equiv (Ti, Tt, Te). \quad (8)$$

Для критерію D коконус морфізмів $H_{SC_i}^D$, буде описувати таку еквівалентність

$$D \equiv (Du, Dt, Dra). \quad (9)$$

Для будь-якої альтернативи ІС УП, яка буде брати участь у процесі вибору, коконус морфізмів $H_{SC}^{is_i}$ буде описувати таку еквівалентність

$$H_{SC}^{is_i} = \left(\begin{array}{ccccccccc} h_{val_{Fs}}^{is_i}, h_{val_{Fi}}^{is_i}, h_{val_{Fm}}^{is_i}, h_{val_{Fsc}}^{is_i}, h_{val_{Cs}}^{is_i}, h_{val_{Ce}}^{is_i}, h_{val_{Ch}}^{is_i}, h_{val_{Ti}}^{is_i}, \\ h_{val_{Tt}}^{is_i}, h_{val_{Te}}^{is_i}, h_{val_{Du}}^{is_i}, h_{val_{Dt}}^{is_i}, h_{val_{Dra}}^{is_i} \end{array} \right), \quad (10)$$

де val_{Fs} – значення підкритерію Fs ; val_{Fi} – значення підкритерію Fi ; val_{Fm} – значення підкритерію Fm ; val_{Fsc} – значення підкритерію Fsc ; val_{Cs} – значення підкритерію Cs ; val_{Ce} – значення підкритерію Ce ; val_{Ch} – значення підкритерію Ch ; val_{Ti} – значення підкритерію Ti ; val_{Tt} – значення підкритерію Tt ; val_{Te} – значення підкритерію Te ; val_{Du} – значення підкритерію Du ; val_{Dt} – значення підкритерію Dt ; val_{Dra} – значення підкритерію Dra .

Існування коконуса морфізмів (10) стає можливим завдяки застосуванню для опису кожного з підкритеріїв, як сказано у розділі 4, стандартної атрибутивної моделі опису кількісних та якісних показників [20]. Ця модель дає змогу встановлювати ізоморфне відображення між атрибутом «Найменування підкритерію» та атрибутом «Значення підкритерію» для кожної конкретної альтернативи ІС УП.

Схема ієрархічної структури моделі (1) для випадку (4)-(10) та трьох можливих альтернатив ІС УП буде мати вигляд, показаний на рис. 1. Використання подібної ієрархічної схеми як візуального представлення екземплярів моделі (1) під час вирішення задачі оцінювання ІС УП дозволяє краще зрозуміти зв'язки між критеріями та підкритеріями в процесі вибору ІС УП.

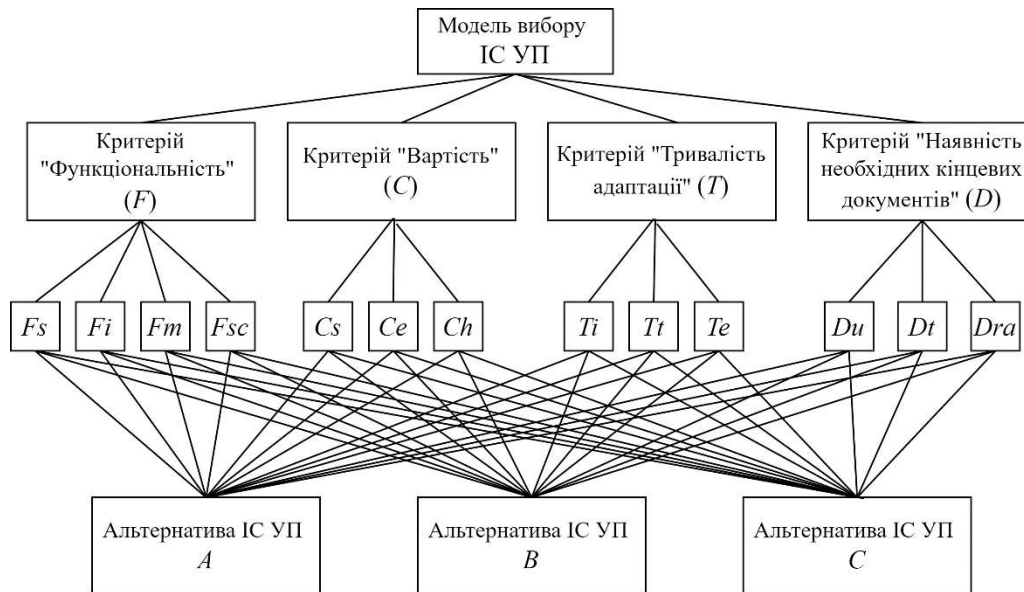


Рис. 1. Схема ієрархічної структури моделі

5.3. Розробка методу вибору інформаційної системи управління проектами

Для реалізації моделі (2) розробимо метод оцінки та вибору ІС УП, спираючись на сформовані критерії та підкритерії, МАІ та спосіб формування подібного методу [22], [23]. Цей метод включає такі етапи.

Етап 1. Визначення за допомогою експертів базових оцінок критеріїв ІС УП та їх ваг.

Крок 1.1. Збір оцінок експертів для кожного критерію. Експерти порівнюють критерії «Функціональність» (F), «Вартість» (C), «Тривалість адаптації» (T) та «Наявність необхідних кінцевих документів» (D) попарно, формуючи матрицю попарних порівнянь

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{FC} & x_{FT} & x_{FD} \\ \frac{1}{x_{FC}} & 1 & x_{CT} & x_{CD} \\ \frac{1}{x_{FT}} & \frac{1}{x_{CT}} & 1 & x_{TD} \\ \frac{1}{x_{FD}} & \frac{1}{x_{CD}} & \frac{1}{x_{TD}} & 1 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

Крок 1.2. Обчислення середніх геометричних значень для кожного рядка

$$G_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_{ij}}, \quad (12)$$

де G_i – середнє геометричне значення для i -го рядка; x_{ij} – значення елемента у i -му рядку j -го стовбця матриці (11).

Крок 1.3. Знаходження суми всіх середніх геометричних значень.

$$S = \sum_{i=1}^n G_i, \quad (13)$$

де S – сума всіх середніх геометричних значень на основі (12).

Крок 1.4. Кожне середнє геометричне значення нормалізується шляхом ділення на суму, щоб отримати вагу критерію

$$w_i = \frac{G_i}{S}, \quad (14)$$

де w_i – вага критерію.

Це дозволяє представити ваги критеріїв у вигляді вектору значень

$$W_K = (w_F, w_C, w_T, w_D), \quad (15)$$

де W_K – вектор ваг для критеріїв; w_i – вага кожного критерію, обчислена в (14).

Етап 2. Визначення оцінки підкритеріїв ІС УП. Кроки Етапу 2 співпадають з кроками Етапу 1, але обчислюються ваги для підкритеріїв кожного критерію шляхом порівняння їх між собою. Це дозволяє сформувати вектор локальних ваг підкритеріїв

$$W_{SK} = (w_{FS}, w_{Fi}, w_{Fm}, w_{Fsc}, w_{Cs}, w_{Ce}, w_{Ch}, w_{Ti}, w_{Tt}, w_{Te}, w_{Du}, w_{Dt}, w_{Dra}), \quad (16)$$

де W_{SK} – вектор ваг для підкритеріїв; $w_{Si}, w_{Ci}, w_{Ti}, w_{Di}$ – ваги підкритеріїв для кожного критерію.

Етап 3. Визначення глобальної ваги підкритеріїв

$$W_k * W_{sk} = W_{gk}, \quad (17)$$

де W_k – вага критерію (7); W_{sk} – локальна вага підкритерію (8); W_{gk} – глобальна вага підкритерію.

Етап 4. Оцінка альтернатив за кожним з підкритеріїв.

Крок 4.1. Збір оцінок альтернатив згідно з визначеними підкритеріями.

Крок 4.2. Визначення ваги кожної альтернативи згідно з підкритерієм. Цей процес відбувається шляхом ділення середнього геометричного значення рядка матриці парних порівнянь на суму всіх середніх геометричних

$$A_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij} / \sum_{i=1}^n G_i}, \quad (18)$$

де A_i – вага альтернативи за підкритерієм. Наприклад, A_{Ce} – вага альтернативи за підкритерієм експлуатаційних витрат; a_{ij} – значення оцінки при парному порівнянні альтернатив за підкритеріями для i -го рядка та j -го стовбця.

Етап 5. Визначення найкращої з альтернатив та її вибір. Загальна оцінка для кожної альтернативи визначається шляхом сумування додатків глобальних ваг критеріїв та ваг альтернатив за відповідними критеріями

$$A_{evaluation} = \sum_j (W_{gk_j} * A_{i_j}), \quad (19)$$

де $A_{evaluation}$ – кінцева вага альтернативи; W_{gk} – глобальна вага підкритеріїв; A_i – ваги альтернатив за підкритеріями (18).

5.4. Експериментальна перевірка результатів реалізації методу вирішення задачі вибору інформаційної системи управління проектами зі створенням веб-додатку

Для реалізації запропонованих моделі і методу було використано мову Python та бібліотеки Strimlit та АНРу. Дані бібліотеки дозволяють швидко створити веб-додаток. Особливу увагу приділялося бібліотеці АНРу, яка є засобом реалізації МАІ. Її використання спростить створення додатку та надасть можливість оцінки запропонованих критеріїв та підкритеріїв. На рис. 2 наведено приклад реалізації відносин між критеріями та підкритеріями.

На відміну від кількості критеріїв та підкритеріїв, які були визначені у підрозділі 5.1, кількість альтернатив ІС УП для різних замовників під час вирішення задачі може змінюватися. Тому під час реалізації було визнано необхідною розробку додаткової функції для введення даних щодо цих альтернатив представниками замовника. Приклад реалізації цієї функції наведено на рис. 3.

```

1 import ahpy
2
3 images
4 def create_pairwise_matrix(items, key_prefix=""):
5     comparisons = {}
6     weights = [
7         "1/9", "1/8", "1/7", "1/6", "1/5", "1/4", "1/3", "1/2",
8         "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9"
9     ]
10
11     for i in range(len(items)):
12         for j in range(i + 1, len(items)):
13             key = f"{key_prefix}_{i}_{j}"
14             weight_str = st.selectbox(f"Введіть порівняння для {items[i]} проти {items[j]}:", weights, key=key)
15             weight = eval(weight_str)
16             comparisons[(items[i], items[j])] = weight
17
18     return comparisons
19
20 st.header("Введення критеріїв для методу аналізу ієрархій")
21 criteria = ['Функціональність', 'Вартість', 'Тривалість адаптації', 'Навантаження необхідних документів']
22 criteria_comparisons = create_pairwise_matrix(criteria, key_prefix="criteria")
23
24 st.header("Введення підкритеріїв для кожного критерію")
25 subcriteria = {
26     'Функціональність': ['Відповідність специфікаціям проекту', 'Масштабованість', 'Інтегрованість', 'Безпека'],
27     'Вартість': ['Початкова вартість', 'Експлуатаційні витрати', 'Приховані витрати'],
28     'Тривалість адаптації': ['Час на впровадження', 'Час на навчання персоналу', 'Готовність до експлуатації'],
29     'Навантаження необхідних документів керівному персоналу': ['Документація користувача', 'Технічна документація', 'Звіт та аналітика']
30 }

```

Рис. 2. Приклад реалізації відносин між критеріями та підкритеріями в рамках розробленої моделі

```

35 st.header("Введення альтернатив (ІС УП)")
36 alternatives_input = st.text_input("Введіть назви альтернатив через кому (наприклад: Basecamp, Jira, Trello)")
37 alternatives = [alt.strip() for alt in alternatives_input.split(",") if alt.strip()]
38 alternative_comparisons = {}
39
40 if alternatives and len(alternatives) > 1:
41     for criterion in subcriteria:
42         for subcriterion in subcriteria[criterion]:
43             st.subheader(f"Порівняння альтернатив для підкритерію {subcriterion}")
44             alternative_comparisons[subcriterion] = create_pairwise_matrix(alternatives, key_prefix=subcriterion)
45
46 st.header("Обчислення кінцевих ваг альтернатив")
47
48 criteria_ahp = ahpy.Compare(name='Критерії', criteria_comparisons, precision=3)
49 subcriteria_ahp = {}
50 for criterion, comparisons in subcriteria_comparisons.items():
51     subcriteria_ahp[criterion] = ahpy.Compare(criterion, comparisons, precision=3)
52
53 criteria_ahp.add_children([subcriteria_ahp[criterion] for criterion in subcriteria])

```

Рис. 3. Приклад реалізації введення даних щодо альтернатив

Експериментальна перевірка розроблених моделі і методу проводилася на прикладі однієї з українських організацій, яка планує використовувати ІС УП для автоматизації своєї діяльності. Представниками цієї організації в ході виконання Кроку 1.1 методу було задано оцінки важливості критеріїв, визначених в розробленій моделі. Ці оцінки наведені в табл. 1.

Результати виконання Кроків 1.2-1.4 для визначених експертами значень критеріїв (табл. 1) наведено у табл. 2.

Під час виконання Етапу 2 розробленого методу експертами на основі варіанту (5)-(9) моделі (1), запропонованого для оцінювання ІС УП, було визначено оцінки важливості підкритеріїв (16). Приклад проміжних результатів виконання Етапу 2 для підкритеріїв критерію «Функціональність» наведено у табл. 3 та табл. 4.

Результати виконання Етапу 3 розробленого методу наведено у табл. 5.

Таблиця 1

Оцінки важливості критеріїв, визначених в розробленій моделі

Критерії	Функціональність	Вартість	Тривалість адаптації	Наявність необхідних кінцевих документів
Функціональність	1	3	5	7
Вартість	1/3	1	3	5
Тривалість адаптації	1/5	1/3	1	3
Наявність необхідних кінцевих документів	1/7	1/5	1/3	1

Таблиця 2

Результати виконання Етапу 1 розробленого методу

Критерії	Добуток	Корінь з добутку	Вага
Функціональність	140	3,44	0,58
Вартість	5	1,50	0,25
Тривалість адаптації	0,2	0,67	0,11
Наявність необхідних кінцевих документів	0,0095	0,31	0,05
Сума коренів		5,92	

Таблиця 3

Оцінки важливості підкритеріїв критерію «Функціональність», визначених в розробленій моделі

Підкритерії	Відповідність специфікаціям проєкту	Масштабованість	Інтегрованість	Безпека
Відповідність специфікаціям проєкту	1	4	3	5
Масштабованість	1/4	1	2	4
Інтегрованість	1/3	1/2	1	3
Безпека	1/5	1/4	1/3	1

Таблиця 4

Результати виконання Етапу 2 розробленого методу для підкритеріїв критерію «Функціональність»

Критерії	Добуток	Корінь з добутку	Вага
Відповідність специфікаціям проєкту	60	2,78	0,54
Масштабованість	2	1,19	0,23
Інтегрованість	0,5	0,84	0,16
Безпека	0,0167	0,36	0,07
Сума коренів		5,17	

Під час виконання Етапу 4 розробленого методу як можливі альтернативи ІС УП представниками замовника розглядалися системи Basecamp, Jira і Trello. Для кожної з цих альтернатив експертами в ході виконання Кроку 4.1 були визначені оцінки за встановленими на попередніх етапах методу підкритеріями. За цими оцінками було розраховано ваги альтернатив за кожним з підкритеріїв. Як приклад результатів виконання Етапу 4 у табл. 6 наведено оцінки альтернатив за підкритерієм F_5 («Відповідність специфікаціям проєкту»).

Таблиця 5

Результати визначення глобальної ваги підкритеріїв, які використані у розробленій моделі

Критерії	Підкритерії	Глобальна вага
Функціональність	Відповідність специфікаціям проекту	0,313
	Масштабованість	0,133
	Інтегрованість	0,093
	Безпека	0,041
Вартість	Початкова вартість	0,14
Вартість	Експлуатаційні витрати	0,078
	Приховані витрати	0,033
Тривалість адаптації	Час на впровадження	0,061
	Час на навчання персоналу	0,035
	Час на підготовку до експлуатації	0,015
Наявність необхідних кінцевих документів	Наявність документації користувача	0,031
	Наявність технічної документації	0,013
	Наявність звітів та аналітики	0,007
Загальна сума		0,993

Таблиця 6

Результати виконання Етапу 4 розробленого методу за підкритерієм «Відповідність специфікаціям проекту»

Відповідність специфікаціям проекту	Basecamp	Jira	Trello	Добуток	Корінь з добутку	Вага
Basecamp	1	1/3	1/2	0,167	0,64	0,20
Jira	3	1	2	6	1,57	0,49
Trello	2	1/2	1	1,00	1,00	0,31
Сума коренів					3,21	

Під час виконання Етапу 5 розробленого методу було розраховано кінцеву вагу кожної альтернативи за виразом (19). Кількісні результати виконання Етапу 5 наведено у табл. 7.

Таблиця 7

Кількісні результати виконання Етапу 5 розробленого методу

	Глобальні ваги	Basecamp, ваги	Jira, ваги	Trello, ваги
Fs	0,313	0,2	0,49	0,31
Fm	0,133	0,16	0,51	0,33
Fi	0,093	0,19	0,47	0,33
Fsc	0,041	0,16	0,33	0,15
Cs	0,14	0,2	0,31	0,49
Ce	0,078	0,16	0,51	0,33
Ch	0,033	0,2	0,49	0,31
Ti	0,061	0,2	0,45	0,35
Tt	0,035	0,16	0,51	0,33
Te	0,015	0,16	0,48	0,36
Du	0,031	0,16	0,51	0,33
Dt	0,013	0,19	0,47	0,33
Dra	0,007	0,2	0,53	0,28
Оцінка		0,18	0,46	0,35

Отримані результати дозволяють стверджувати, що в результаті вирішення задачі оцінювання ІС УП Basecamp, Jira і Trello експертами підприємства-замовника за запропонованими критеріями та підкритеріями із використанням розроблених моделі і методу як найкращу альтернативу рекомендовано обрати ІС УП Jira.

6. Обговорення результатів дослідження

В ході проведення дослідження було проведено аналіз сучасних методів та критеріїв, які пропонувалося використовувати для вирішення задачі вибору інформаційних систем і, зокрема, ІС УП. За результатами цього аналізу було обґрунтовано вибір критеріїв та підкритеріїв, які пропонується використовувати для вирішення задачі вибору ІС УП за вимогами організацій, які планують застосовувати ці системи у своїй бізнес-діяльності. Ці критерії та підкритерії, а також набутий досвід використання МАІ як одного з основних методів вирішення задачі багатокритеріального вибору систем, було покладено в основу розробленої категорно-множинної моделі оцінювання ІС УП (1)-(3). Було також розглянуто особливості варіанту розробленої моделі для вирішення задачі оцінювання ІС УП (4)-(10).

Розроблену категорно-множинну модель разом із базовим МАІ було покладено до основи розробленого методу вибору ІС УП. Цей метод дозволяє кількісно обґрунтувати вибір найкращої альтернативи ІС УП з множини існуючих альтернатив на вимоги організації-замовника такої системи з використанням запропонованих критеріїв та підкритеріїв. Розглянуто елементи програмної реалізації і проведено експериментальну перевірку розроблених моделі та методу.

Спираючись на результати розробки моделі та методу, було сформовано веб-додаток для пришвидшення обрахунків. Він значно спрощує використання розглянутих критеріїв та підкритеріїв, моделі та методу під час вирішення задачі вибору ІС УП. Даний додаток можна використовувати для пришвидшення збору даних від замовника, що, в свою чергу, спростить використання моделі та методу при виборі ІС УП. Додаток також дозволить зібрати більший об'єм даних для остаточного рішення замовника та оптимізує сам процес вирішення задачі вибору.

На відміну від переважної кількості сучасних досліджень [13], [15]-[17], [19], використання під час вибору ІС УП не тільки критеріїв, а й підкритеріїв (як і в [14]), надало гарний та однозначний результат вирішення задачі вибору ІС УП. Як було помічено в ході дослідження, під час аналізу альтернатив ІС УП за підкритеріями доволі часто альтернативи мали надзвичайно малу різницю за результатами парних порівнянь Сааті (наприклад, див. табл. 6). Під час експериментальної перевірки розроблених моделі і методу жодна з альтернатив ІС УП не мала оцінки 5 («Сильна перевага»). Це підтверджує необхідність застосування обґрунтованих підкритеріїв, оскільки різниця у оцінках альтернатив настільки мала, що вирішення задачі оцінювання за допомогою лише чотирьох основних критеріїв призвело б до отримання необ'єктивних результатів.

Але отримані результати дослідження мають і окремі недоліки. Одним з таких недоліків є досить значний обсяг обчислень, які доводиться робити під час застосування розробленого методу для вирішення задачі вибору ІС УП. Як інший недолік, який може виникнути під час вирішення задачі вибору ІС УП, слід вказати можливу суб'єктивність результатів при недостатній кількості експертів. Для зменшення впливу суб'єктивності можна залучити більшу кількість експертів і використовувати середні оцінки. Але таке залучення може викликати проблему узгодженості оцінок. Для вирішення цієї проблеми можна запропонувати використовувати коефіцієнт узгодженості для перевірки ступеня узгодженості оцінок експертів та коригувати оцінки у випадку виявлення значних розбіжностей.

7. Висновки

У процесі дослідження було проведено аналіз сучасних підходів та методів вирішення задачі вибору ІС УП. Результати аналізу підтвердили, що у випадках необхідності

вирішення задачі багатокритеріального вибору ІС УП як базовий метод вирішення рекомендується МАІ. При цьому для вирішення задачі вибору ІС УП рекомендується використовувати не тільки базові критерії, а й декомпонувати ці критерії на підмножини підкритеріїв, що підвищує точність та об'єктивність рішення.

Базуючись на результатах проведеного аналізу, було обґрунтовано вибір чотирьох базових критеріїв (4) та тринадцяти підкритеріїв (5) вибору ІС УП. Ці критерії та підкритерії було покладено в основу розробленої категорно-множинної моделі оцінювання (1)-(3) та використано під час розробки варіанту моделі, адаптованого для оцінювання саме ІС УП за обраними критеріями та підкритеріями (4)-(10). Результати розробки моделі (1)-(3) та її варіанту для оцінювання ІС УП (4)-(10) було покладено до основи розробленого методу вибору ІС УП.

Для експериментальної перевірки моделі та базованого на ній методу було створено веб-додаток для збору та обробки оцінок експертів. Використання цього додатку довело свою доцільність завдяки скороченню витрат часу на введення та обробку даних, скорочуючи час прийняття рішень замовниками.

В рамках перспектив подальших досліджень було рекомендовано збільшити кількість експертів, але використати коефіцієнт узгодженості для більшої точності моделі та методу.

Перелік посилань:

1. Retnowardhani A., Suroso J. S. Project Management Information Systems (PMIS) for Project Management Effectiveness: Comparison of Case Studies. *2019 International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE), Jember, Indonesia, 16–17 October 2019*. 2019. <https://doi.org/10.1109/icomitee.2019.8921046> (дата звернення: 21.03.2024).
2. Marchewka J. T. Information technology project management: Providing measurable organizational value. 2015. 341 p.
3. Skinner L. J. How Will AI Transform Project Management? *ITNOW*. 2022. Vol. 64, No. 2. P. 14–15. <https://doi.org/10.1093/itnow/bwac040> (дата звернення: 19.05.2024).
4. Tokuç A. A., Uran Z. E., Tekin A. T. Management of Big Data Projects: PMI Approach for Success. *Research Anthology on Big Data Analytics, Architectures, and Applications*. 2022. P. 1786–1800. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-3662-2.ch087>
5. Stoniec J. Use of Cloud Computing in Project Management. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 791. P. 49–55. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.791.49> (дата звернення: 19.05.2024).
6. Purohit A., Chopra G., Dangwal P. G. Measuring the Effectiveness of the Project Management Information System (PMIS) on the Financial Wellness of Rural Households in the Hill Districts of Uttarakhand, India: An IS-FW Model. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 21. P. 13862. doi: <https://doi.org/10.3390/su142113862> (дата звернення: 21.03.2024).
7. Cicibaş, Halil & Unal, Omer & Demir, Kadir. A Comparison of Project Management Software Tools (PMST). 2010. P. 560-565.
8. Szwed P. S. Expert Judgment in Project Management: Narrowing the Theory-Practice Gap. Project Management Institute, 2016. 128 p.
9. Kerzner H. Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards: A Guide to Measuring and Monitoring Project Performance. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2013. 448 p.
10. Balamuralikrishna R., Dugger J. C. SWOT Analysis: A Management Tool for Initiating New Programs in Vocational Schools. *Journal of Career and Technical Education*. 1995. Vol. 12, No. 1. doi: <https://doi.org/10.21061/jcte.v12i1.498> (дата звернення: 19.05.2024).
11. Saaty R., Mu E. T.L. Saaty Decision Making for Leaders Hackathon. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*. 2022. Vol. 14, No. 1. doi: <https://doi.org/10.13033/ijahp.v14i1.987> (дата звернення: 19.05.2024)..
12. Belton V., Stewart T. J. Outranking Methods. Multiple Criteria Decision Analysis. Boston, MA, 2002. P. 233–259. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4_8 (дата звернення: 19.05.2024).
13. Поволоцький Я. О., Усенко Р. Р. Оцінювання та вибір програмних засобів сучасних систем управління ІТ-проєктами. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2018. Т. 1, № 3. С. 50–55. doi: <https://doi.org/10.24025/2306-4412.3.2018.162735> (дата звернення: 20.03.2024).
14. Enea M., Muriana C. An AHP-based approach to PMISs assessment. *International Journal of Business Environment*. 2015. Vol. 7, No. 1. P. 32. doi: <https://doi.org/10.1504/ijbe.2015.065995> (дата звернення: 20.03.2024).
15. R. Micale et al. Project Management Information Systems (PMISs): A Statistical-Based Analysis for the

Evaluation of Software Packages Features. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 23. P. 11233. doi: <https://doi.org/10.3390/app112311233> (дата звернення: 21.03.2024).

16. Левыкин И.В. Метод выбора аналога информационной системы управления полиграфическим предприятием. *Вісник Академії митної служби України. Серія : Технічні науки*. 2015. № 1. С. 56–64.

17. Alfawaz K. M., Aljedani F. M. Construction of Project Management Using Information System. *Communications in Mathematics and Applications*. 2022. Vol. 13, No. 2. P. 823–833. doi: <https://doi.org/10.26713/cma.v13i2.2036> (дата звернення: 20.03.2024).

18. Taniguchi A., Onosato M. Effect of Continuous Improvement on the Reporting Quality of Project Management Information System for Project Management Success. *International Journal of Information Technology and Computer Science*. 2018. Vol. 10, No. 1. P. 1–15. doi: <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2018.01.01> (дата звернення: 21.03.2024).

19. Caniëls M. C. J., Bakens R. J. J. M. The effects of Project Management Information Systems on decision making in a multi project environment. *International Journal of Project Management*. 2012. Vol. 30, No. 2. P. 162–175. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.05.005> (дата звернення: 20.03.2024).

20. Brooks P. Metrics for IT Service Management. Van Haren Publishing, 2006. 202 p.

21. Saaty T. L. Decision making for leaders. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1985. SMC-15, No. 3. P. 450–452. doi: <https://doi.org/10.1109/tsmc.1985.6313384> (дата звернення: 19.05.2024).

22. Левикін В.М., Юр'єв І.О. Модель вибору набору ІТ-сервісів для кінцевих користувачів. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Х.: НТУ «ХП», 2016. № 45 (1217). С. 78–84.

23. Левикін В.М., Діденко Д.О., Альошкін А.О. Метод формування заявок природною мовою на основі вдосконаленої моделі BERT. *АСУ та прилади автоматики*. 2024. № 180. С. 55-71.

Надійшла до редколегії 02.07.2024 р.

Левикін Віктор Макарович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: viktor.levykin@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7929-515X> (науковий керівник здобувача вищої освіти Купенка Максима Ігоровича).

Петриченко Олександр Вячеславович, кандидат технічних наук, докторант кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: petrichenko.alexander@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1319-5041>

Юр'єв Іван Олексійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ІУС ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: ivan.iuriev@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5178-519X>.

Купенко Максим Ігорович, здобувач вищої освіти, група УППІТМ-22-3, факультет комп'ютерних наук, ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: maksym.kupenko@nure.ua.