

В. І. Чимшир; Р. В. Омельченко

ФОРМУВАННЯ ПОРТФЕЛЯ СЕРВІСІВ ДЛЯ ПРОВАЙДЕРІВ ІНФОКОМУНІКАЦІЙ: МЕТОДИ І ВИБІР НАЙКРАЩОГО З УРАХУВАННЯМ СИТУАЦІЇ

Стаття присвячена проблемі формування портфелів сервісів для провайдерів інфокомунікаційних послуг. Актуальність зазначеної проблеми визначається впровадженням нових концепцій управління діяльністю провайдерів інфокомунікаційних послуг. Виконано аналіз основних підходів до формування портфеля сервісів, зокрема статистичного, комбінованого, на основі кластеризації та методів штучного інтелекту. У результаті проведеного дослідження встановлено, що вибір найбільш придатного методу формування портфеля сервісів у системах інформаційної підтримки діяльності провайдерів інфокомунікаційних послуг залежить від низки чинників. Насамперед, мова йде про визначення ринку, на який орієнтується провайдер сервісів, врахування стратегії горизонтальної та вертикальної диференціації сервісів, виділення цільових груп клієнтів. Важливо також врахувати пов'язаність сервісів портфелю, яка додає нову цінність для клієнта, особливості сервісів портфеля, важливі з точки зору ефективного задоволення функціональних і нефункціональних вимог. Сьогодні важливо також взяти до уваги розширення можливостей наявних сервісів шляхом зміни окремих характеристик, можливостей чи компонентів, врахування налаштування сервісів, особливостей ІТ, обладнання, програмних компонентів та інших складових, з яких будуються сервіси. Мають вплив також новий галузевий підхід до ціноутворення, сучасні концепції наприклад взаємної вигоди.

Для врахування чинників впливу при виборі найбільш придатного методу запропоновано застосування методу експертного оцінювання. Запропонований метод базується на формалізації процесу групового прийняття рішень, ранжуванні критеріїв та оцінюванні альтернатив за допомогою експертів. Запропонований підхід базується на ідеї Earth Mover's Distance, але на основі незалежного аналізу кожної координати розподілу. Це суттєво зменшує обчислювальну складність і забезпечує швидку інтеграцію в системи прийняття рішень. При цьому отриманий наближений розв'язок, за умови використання заздалегідь визначеної системи критеріїв, досить близький до розв'язку, що отримується за допомогою класичного підходу.

Запропонована мікросервісна архітектура інформаційної системи формування портфеля сервісів. Розглянуто особливості реалізації компонентів системи. Наведено результати експериментального дослідження запропонованого методу експертного оцінювання.

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропоновані методи можуть бути використані для формування портфелів сервісів в інформаційних системах провайдерів інфокомунікацій. Матеріал статті буде корисним для фахівців у галузі надання інфокомунікаційних послуг.

Ключові слова: портфель сервісів, формування портфеля сервісів, інформаційна система, провайдер інфокомунікаційних послуг, експертне оцінювання, мікросервісна архітектура.

Вступ

Проблема формування портфелів сервісів в інформаційних системах (ІС) ІТ-компаній і провайдерів інфокомунікаційних послуг (ІКП) є однією з найважливіших. Існує багато методів, які дозволяють ефективно вирішувати цю проблему з урахуванням її специфіки. Застосовуються підходи, засновані на різних концептуальних засадах. Зокрема, використовуються статистичні методи, методи на основі кластеризації. Щоб врахувати систему знижок, проблему формують як багатокритеріальну булеву задачу, для розв'язання якої застосовують комбіновані методи. Також ефективними виявилися методи

штучного інтелекту.

При цьому з огляду на наявність багатьох чинників впливу у системах формування портфелів сервісів часто передбачається інтеграція з особою, що приймає рішення (ОПР), яка забезпечує остаточне ухвалення рішення щодо впровадження сформованого портфелю сервісів.

У зв'язку з цим постає задача вибору найбільш придатного методу формування портфелів сервісів для ІТ-компаній і провайдерів ІКП з урахуванням обмежень, цілей, специфіки ситуацій і сучасних бізнес-концепцій у галузі інфокомунікацій.

Аналіз методів формування портфелів сервісів

Загалом, для створення системи формування портфелів інфокомунікаційних сервісів, яка відповідає вимогам масштабності та розвитку, ефективним виявилось застосування групи методів, заснованих на різних концептуальних підходах [1, 2]. Це дозволяє обирати найкращі розв'язки і навчати систему адаптивно підбирати методи залежно від конкретного класу ситуацій [3 – 7].

Першою групою методів, які добре зарекомендували себе, є статистичні методи [3 – 4]. На основі накопичених даних щодо надання портфелів сервісів в інформаційних системах ІТ-компаній і провайдерів вони дають змогу формувати ефективні розв'язки задачі.

Ці методи можуть використовуватися для підтримки прийняття рішень ІТ-компанією і провайдером ІКП у процесі формування портфелів і при розв'язанні задачі пріоритетизації при виборі найпридатніших для впровадження портфелів. Їх перевагою є коректність отриманих результатів, що гарантується класичним математичним апаратом, а також масштабованість.

Додатковим стимулом для вибору статистичних методів є можливість використання даних про уподобання клієнтами того чи іншого сервісу. У цьому випадку оцінюється популярність портфелю сервісів, а не прибуток від їх надання, але розширюється сфера застосування методу.

Загалом для застосування цих методів достатньо накопичених даних про сервіси портфелів, вибірок, які містять прибутки за надання сервісів, отримані в певний період часу, або дані про популярність сервісів. Однак, в багатьох ситуаціях на формування портфелів сервісів впливають і інші чинники, які статистичні методи прямо не враховують. Мова йде про:

- визначення ринку, на який орієнтується провайдер сервісів, врахування стратегії диференціації сервісів, виділення цільових груп клієнтів;
- пов'язаність сервісів портфелю, формування цілісності, яка додає нову цінність для клієнта;
- вигравні особливості сервісів портфелю, важливі для клієнта з точки зору ефективного задоволення функціональних і нефункціональних вимог;
- використання горизонтальної та вертикальної диференціації сервісів за рахунок розширення можливостей наявних сервісів шляхом зміни окремих характеристик, можливостей чи компонентів;
- врахування налаштування сервісів, особливостей ІТ, обладнання, програмних компонентів та інших складових, з яких будуються сервіси;
- врахування ефектів заміщення, галузевого підходу до ціноутворення, сучасних концепцій наприклад взаємної вигоди.

Тому з'являється потреба в додаткових методах, які дозволяють взяти до уваги наведені вище чинники впливу.

Другу групу придатних методів склали методи на основі кластеризації [5, 6]. Виявилось, що дані про взаємодію між ІТ-компаніями та провайдерами ІКП, а також між провайдерами ІКП і користувачами сервісів, є основою для кластеризації. Ці методи дозволяють формувати портфелі сервісів, які забезпечують взаємну вигоду провайдеру і клієнтам, з врахуванням параметрів угоди про рівень обслуговування, забезпечення визначеного рівня QoS, безпеки і

довіри. Отримані кластери рекомендуються службам провайдера як портфелі сервісів. Цей підхід є досить універсальним, при цьому забезпечуючи персоналізоване формування портфелів сервісів.

Третю групу складають методи орієнтовані на розв'язання задачі формування портфелів сервісів у формальних постановках, які дозволяють врахувати інтереси ІТ-компанії та провайдерів, провайдерів і їх клієнтів [7]. Загалом мова йде про багатокритеріальні нелінійні задачі математичного програмування, для розв'язання яких використовуються комбіновані методи, які враховують особливості розбиття вихідної задачі на підзадачі. Ці методи дозволяють врахувати інтереси ІТ-компанії та провайдерів, провайдерів і їх клієнтів. Їх важливою особливістю є здатність взяти до уваги такі чинники, що впливають на формування портфелів, як базова ціна сервісу, залежність сервісів, система знижок, ресурсні та інші обмеження ІТ-компанії та провайдерів. До цієї групи належить комбінований метод [7], який дозволяє отримати найкращі рішення задачі оптимізації з одночасним вибором цінової стратегії. Поєднання точних і евристичних методів з методами інтелектуального аналізу для багатокритеріальних задач дозволяє узгоджувати точність результатів і обчислювальні витрати відповідно до динаміки ринку ІКП, що є важливим для конкурентоспроможності компанії.

Четверту групу складають методи, побудовані на застосуванні метаевристичних алгоритмів, зокрема генетичних та бджолиного рою, ефективні в умовах невизначеності та обмежених ресурсів [7]. Так, керований генетичний алгоритм інтегровано використовує три типи інструментів для ефективного розв'язання задачі формування портфелю сервісів — контролю збіжності алгоритму, вибору найкращого рішення з урахуванням особливостей багатокритеріальної задачі, поєднання найкращих рішень задачі оптимізації з одночасним вибором цінової стратегії [7].

Дослідження зазначених методів підтвердило їх здатність враховувати різні цільові функції, обмеження й застосовувати відповідні методи для моделювання сценаріїв у задачах формування портфелів сервісів. Вони є достатньо універсальними й придатними для різних галузей, при цьому забезпечуючи персоналізоване формування портфелів сервісів для кожного провайдера чи клієнта в різних ситуаціях. Перевірені методи й алгоритми, інтегровані з концепціями математичного програмування й штучного інтелекту, гарантують коректність результатів.

І хоч тривають дослідження, спрямовані на їх розвиток з урахуванням тенденцій розвитку галузі інфокомунікацій, описані методи знайшли застосування як основа для прийняття рішень в процесі створення систем формування портфелів сервісів для ІТ-компаній і провайдерів ІКП. Попри наведені вище переваги методів формування портфелів сервісів для провайдерів чи їх клієнтів, у наявних ІС передбачено співпрацю з особою, що приймає рішення (ОПР). Тобто розв'язок, який надає ІС, має рекомендаційний характер, а остаточне рішення належить ОПР.

Виникає потреба у розробленні методу оцінювання результатів і вибору найпридатнішого методу у різних ситуаціях формування портфелів сервісів. Одним із ефективних підходів у цьому контексті є метод експертного оцінювання. Його суть полягає в класифікації портфелів за ознаками, пов'язаними з провайдерами, клієнтами та сервісами, і подальшому виборі найбільш придатного методу для кожного класу на основі експертних оцінок.

Задача вибору методу експертного оцінювання

Розглянемо задачу вибору найпридатнішого з-поміж запропонованих методів формування портфеля сервісів залежно від ключових чинників впливу. Широкий спектр таких чинників охоплює не лише показники ефективності методів, а й особливості формальних постановок задач та накопичений досвід їх застосування. Це свідчить про доцільність використання методів групового прийняття рішень. Для підтвердження ефективності такого підходу необхідне експериментальне дослідження.

При формуванні портфеля сервісів вибір найбільш придатного методу є особливо актуальним при впровадженні ІТ, заснованих на підходах, запропонованих у статті. Важливість задачі зростатиме у зв'язку зі зміною умов ведення бізнесу, коли накопичені дані про використання методів можуть свідчити про зміну пріоритетів. Оскільки бізнес-середовище динамічне, а проблеми, що постають перед ІТ-компаніями та провайдерами ІКП, стають дедалі складнішими, задача вибору найкращого методу формування портфеля сервісів вимагатиме регулярного перегляду й оновлення рішень.

Доцільним виглядає створення експертної групи, яка регулярно повертатиметься до розв'язання задачі вибору методу формування портфеля сервісів, особливо за наявності ознак змін у показниках ефективності методів, зафіксованих у даних, накопичених в ІС провайдерів. До складу такої групи варто включити представників бізнесових підрозділів та ІТ-служби провайдера, чия діяльність безпосередньо пов'язана зі специфікою зазначеної задачі. Це дозволить ефективно використати наявний досвід, врахувати різні точки зору та інтегрувати їх у збалансоване, результативне рішення.

Такий підхід, за умови вибору відповідних методів групового прийняття рішень, дозволяє оперативно проаналізувати ситуацію та ухвалити обґрунтоване рішення. Далі розглянемо запропонований підхід до розв'язання задачі вибору найпридатнішого методу формування портфелів сервісів, наведений у традиційних для теорії прийняття рішень термінах: ОПР, альтернатива, критерій оцінки, ризик, невизначеність і корисність.

За умови вдалого формування експертної групи, важливою передумовою прийняття обґрунтованого рішення ОПР, є наявність технології, яка підтримує пошук можливих варіантів дій на основі визначених критеріїв оцінювання. Така технологія має враховувати характерні для галузі ризику й невизначеності та обирати ті варіанти, що забезпечують максимальну корисність. Відповідно, ця технологія має спиратися на математичні моделі й методи, які забезпечують ефективність вибору на основі принципів системного підходу, раціонального співвідношення результату до витрат на його досягнення, а також з урахуванням впливу людського чинника.

Тепер перейдемо до формулювання задачі вибору методу формування портфеля сервісів та розроблення відповідного підходу до групового прийняття рішень для її розв'язання.

Ця задача передбачає оцінювання та порівняння альтернатив на основі реальних даних, що відображають результати застосування кожного з методів у практичних умовах. Для розв'язання задачі вибору найкращого методу формування портфеля сервісів підлягають аналізу накопичені дані використання власне самих запропонованих методів – статистичного, кластеризації, комбінованого та керованого генетичного алгоритму.

Вище вже було підкреслено доцільність використання методів групового прийняття рішень для розв'язання цієї задачі. Наступним логічним кроком у розвитку такого підходу є орієнтація на прийняття рішень експертами в малих групах. У контексті діяльності провайдерів ІКП типовими прикладами таких груп можуть бути команди представників зацікавлених сторін або експерти, що спеціалізуються на управлінні портфелями замовлень.

У разі прийняття рішень експертами в малих групах ефективна організація процесу потребує чітких відповідей на низку ключових питань щодо доцільності складу експертної групи, організації її роботи, критеріїв відбору експертних оцінок, формування узагальненого групового рішення.

Не заперечуючи переваг традиційних нарад, на яких експерти оцінюють альтернативи, обговорюють їх і переконують одне одного у перевагах своїх рішень, варто запропонувати сучасну технологію колективного прийняття рішень у малих експертних групах. Така технологія базується на концепціях постановки задачі, множини альтернатив, критеріїв оцінювання, корисності, компромісу, а також передбачає можливість залучення зовнішньої експертної думки – зокрема з джерел наприклад соціальних медіа.

Тепер перейдемо до покрокового опису підходу до розв'язання задачі вибору найефективнішого методу формування портфеля сервісів. У цьому викладі буде послідовно

наведено відповіді на раніше сформульовані запитання, із впровадженням згаданих вище концепцій і дотриманням логіки: від об'єкта до проблеми, від проблеми до множини альтернатив, від альтернатив – до системи оцінювання, а далі – до остаточного вибору на основі класифікації, ранжування та відбору найкращого варіанта.

Перш ніж перейти до детального опису кроків, подамо узагальнений огляд методу, виокремивши логічно пов'язані етапи розв'язання задачі та відповідні алгоритми, що застосовуються на кожному з них.

Загальний опис методу експертного оцінювання

Перший етап, умовно попередній, охоплює дії з підготовки до збору даних і безпосереднього їх отримання, необхідних для формування підсумкових оцінок. Кожен експерт, як фахівець у відповідній галузі, аналізує важливість кожного параметра з погляду досягнення основної мети – вибору оптимального методу формування портфеля сервісів, який забезпечує найточніші результати за умов застосування в практичній системі.

Другий етап, умовно підготовчий, охоплює дії з опрацювання результатів, отриманих на попередньому етапі, з метою їх подальшого використання в алгоритмах обчислення підсумкових оцінок методів. Тут виконуються усереднення та нормалізація експертних оцінок, формування матриці оцінок, представлення її у вигляді розподілу ймовірностей, побудова цільового розподілу з урахуванням ваг критеріїв, а також заповнення матриці вартості на основі отриманих розподілів. Значущість параметрів і порівняння методів визначаються на основі експертних оцінок.

Третій етап – це етап безпосереднього аналізу результатів експертного оцінювання методів розв'язання задачі вибору найкращого методу формування портфеля сервісів. На цьому етапі виконується обчислення інтегральної метрики для кожного методу на основі розподілів ймовірностей, отриманих у попередньому етапі, та формується остаточний висновок. Як метрику використано метод Earth Mover's Distance (EMD) [8], що дозволяє оцінити відстань між отриманими оцінками методів і цільовим розподілом, який відображає ваги критеріїв. Перевага методу EMD полягає в його здатності враховувати не лише величину різниці між розподілами, а й "структуру переміщення" ймовірностей – тобто мінімальну вартість трансформації одного розподілу в інший. Це особливо важливо в умовах, коли оцінки мають узгоджуватися з ієрархією пріоритетів, сформованих експертами. Таким чином, EMD забезпечує обґрунтоване й інтерпретоване порівняння альтернатив, що робить його доцільним для задач такого типу.

Разом з тим, у подальшому в межах цієї технології може бути доцільним використання методу головних компонент (PCA), який дозволяє зменшити розмірність простору ознак і виокремити найбільш впливові фактори оцінювання. Такий підхід може бути корисним при масштабуванні системи або розширенні кількості критеріїв.

Етапи реалізації методу експертного оцінювання

Детально розглянемо послідовність кроків кожному з етапів методу експертного оцінювання, формуючи цілісне уявлення про сутність підходу.

Етап 1. Моделюється об'єкт дослідження, визначаються критерії оцінювання та формуються опитувальники, які заповнюються експертами.

Крок 1. Для забезпечення універсальності методу моделюється задача вибору найпридатнішого методу формування портфеля сервісів із множини наявних альтернатив: статистичний метод (M_1); метод кластеризації (M_2); комбінований метод (M_3); методи штучного інтелекту (M_4)).

Крок 2. Для вибору найкращої альтернативи формується множина критеріїв оцінювання методів формування портфелів сервісів:

– точність (K_1) – оцінка наближення отриманого за допомогою кожного з методів розв'язку задачі формування портфеля сервісів до оптимального;

– обчислювальна ефективність (K_2) – оцінка ресурсів (часу, пам'яті), необхідних для розв'язання задачі за допомогою відповідного методу;

– модифікувальність (K_3) – оцінка здатності відповідного методу адаптуватися або вдосконалюватися на основі результатів його попереднього застосування в системі формування портфелів сервісів.

Крок 3. Експертам пропонується десятибальна шкала для оцінювання кожного з методів за визначеними критеріями.

Крок 4. Ранжування критеріїв за важливістю (кожний експерт має впорядкувати критерії, визначені на кроці 2, за ступенем їхньої значущості).

Крок 5. Збір інформації для аналізу шляхом оцінювання методів за встановленими критеріями. Кожен експерт на основі свого досвіду з врахуванням характеристик методів та результатів їх практичного застосування оцінює методи $M_1 - M_4$ за кожним з критеріїв за десятибальною шкалою. Використовуються спеціальні опитувальники.

Крок 6. Зібрані дані опитувальників зводяться у матрицю, вигляд якої наведений у таблиці 1 у розділі 6, де виконане експериментальне дослідження методу експертного оцінювання. Тут у першій колонці зазначаються експерти E_1, \dots, E_n , а у колонці 2 експерти наводять упорядкування критеріїв за важливістю. У наступних чотирьох групах колонок $\{3, 4, 5\}$, $\{6, 7, 8\}$, $\{9, 10, 11\}$ і $\{12, 13, 14\}$ експерти за десятибальною шкалою подають оцінки відповідно методів M_1, M_2, M_3, M_4 за критеріями K_1, K_2, K_3 кожного.

Етап 2. Оскільки дані, отримані після заповнення опитувальників і перенесення їх у матрицю на кроці 6, містять важливу інформацію про ступінь збігу або розбіжності в оцінках експертів, їх необхідно відповідним чином підготувати до подальшого аналізу та прийняття рішення.

Крок 1. Обчислення середніх значень експертних оцінок

Щоб підготувати зібрану інформацію для подальшого аналізу та прийняття рішень, необхідно обчислити середні значення експертних оцінок для кожного методу M_r за кожним критерієм K_t . Це здійснюється для всіх пар r, t за відомою, наприклад [9], формулою (1):

$$z_{rt}^{\text{сеп.}} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n z_{lrt}, \quad r = 1, \dots, 4, t = 1, \dots, 3, \quad (1)$$

де n – кількість експертів у групі; z_{lrt} – оцінка, надана експертом l ($l = 1, \dots, n$) для методу M_r за критерієм K_t .

Усереднені оцінки експертів зручно представляти у вигляді матриці, яка має рядок для кожного методу формування пакету сервісів і стовпець для кожного критерію.

Крок 2. Нормалізація середніх оцінок

Для уніфікації шкал оцінювання виконується нормалізація середніх значень оцінок за кожним критерієм за відомою, наприклад [9], формулою (2):

$$z_{rt}^{\text{норм.}} = \frac{z_{rt}^{\text{сеп.}} - z^{\text{min}}}{z^{\text{max}} - z^{\text{min}}}, \quad r = 1, \dots, 4, t = 1, \dots, 3, \quad (2)$$

де z^{max} – максимальна серед оцінок експертів у групі; z^{min} – мінімальна серед оцінок експертів у групі.

Після нормалізації оцінки експертів також доцільно представляти у вигляді матриці, де рядки відповідають методам формування пакета сервісів, а стовпці — критеріям.

Крок 3. Формування ймовірнісних розподілів

Для визначення відстані між розподілами ймовірностей слід представити оцінки кожного методу у вигляді ймовірнісних розподілів. З цією метою усереднені оцінки за кожним критерієм K_t нормалізуються в межах кожного методу M_r за відомою, наприклад [5], формулою (3):

$$p_{rt} = \left(\frac{z_{rt}^{\text{сеп.}}}{\sum_{t=1}^3 z_{rt}^{\text{сеп.}}} \right), r = 1, \dots, 4, t = 1, \dots, 3, \quad (3)$$

де p_{rt} – нормалізоване значення, що трактується як ймовірність відповідно до критерію K_t для методу M_r .

На основі цих значень для кожного методу формується вектор-розподіл ймовірностей P_r , компонентами якого є значення P_{rt} , тобто:

$$P_r = (p_{r1}, p_{r2}, p_{r3}), r = 1, \dots, 4. \quad (4)$$

Ці вектори розглядаються як ймовірнісні розподіли, які використовуються на наступних кроках для порівняння з цільовим розподілом.

У результаті для кожного з чотирьох методів формування пакета сервісів формуються розподіли ймовірностей P_1, P_2, P_3, P_4 . Їх доцільно подати у вигляді матриці з чотирма рядками (відповідно до методів) і трьома стовпцями (відповідно до критеріїв).

Крок 4. Обчислення нормалізованих оцінок важливості критеріїв

Спочатку для кожного критерію K_t обчислюється його вага w_t за відомою, наприклад [9], формулою (5):

$$w_t = \sum_{l=1}^n \frac{1}{f(l, t)}, t = 1, 2, 3, \quad (5)$$

де $f(l, t)$ – це функція, значенням якої є ранг критерію K_t , вказаний експертом l у другій колонці матриці зведених даних.

Далі ваги нормалізуються за відомою формулою (6):

$$h_t = \left(\frac{w_t}{\sum_{t=1}^3 w_t} \right), t = 1, 2, 3, \quad (6)$$

де h_t – нормалізована вага критерію K_t , яка трактується як його ймовірнісна важливість.

Отримані нормалізовані значення формують вектор цільового розподілу H у вигляді:

$$H = (h_1, h_2, h_3). \quad (7)$$

Крок 5. Побудова матриці відстаней

Для переходу до обчислень на третьому етапі методу необхідно сформувати матрицю відстаней C розміром 4×3 , де кожен рядок відповідає одному з методів формування пакета сервісів (M_1, M_2, M_3, M_4), а кожен стовпець — одному з критеріїв (K_1, K_2, K_3). Елементи цієї матриці обчислюються як евклідова відстань між ймовірнісними розподілами P_r (отриманими для кожного методу) та цільовим розподілом ваг критеріїв H , за відомою формулою (8):

$$c_{rt} = \sqrt{\sum_{t=1}^3 (p_{rt} - h_t)^2}, r = 1, \dots, 4, t = 1, \dots, 3. \quad (8)$$

Побудована матриця відстаней C буде використана на заключному етапі для безпосереднього аналізу результатів експертного оцінювання методів вибору найкращого способу формування портфеля сервісів.

Етап 3. Аналіз результатів експертного оцінювання методів

Цей етап полягає в обчисленні інтегральної метрики для кожного методу формування портфеля сервісів і формулюванні остаточного висновку щодо вибору найкращого з них.

Крок 1. Обчислення метрики EMD

Для кожного методу M_r обчислюється відстань між відповідним розподілом ймовірностей P_r та цільовим профілем критеріїв, наведеним у вигляді матриці C , з використанням методу EMD. Розрахунок здійснюється за формулою (9) [9]:

$$E_r(P, C) = \sum_{i=1}^3 p_{ri} \cdot c_{ri} \quad (9)$$

Усі значення метрики об'єднуються у вектор (10):

$$E(P, C) = (E_1(P, C), E_2(P, C), E_3(P, C), E_4(P, C)), \quad (10)$$

де найменший компонент вектора відповідає методу, який найкраще узгоджується з профілем пріоритетів критеріїв.

Крок 2. Вибір найкращого методу за мінімальним значенням метрики

Аналізується вектор відстаней $E(P, C)$, обчислений на попередньому кроці. Мінімальне значення відповідає найпридатнішому методу формування портфеля за визначеними експертами пріоритетами критеріїв.

Запропонований у роботі підхід до обчислення відстані між розподілами ймовірностей базується на ідеї Earth Mover's Distance. Однак, стандартний EMD орієнтується на задачу оптимального транспорту і передбачає побудову потоку переміщення між усіма парами елементів двох розподілів. В наслідок цього, виникла і була розвинена тенденція до використання не класичної, а спрощених математичних постановок задачі, зокрема [10, 11]. Трансформація одного розподілу в інший як процес переміщення маси поступається оцінюванні відстані між розподілом оцінок певного методу та цільовим розподілом важливості критеріїв у вигляді агрегованої зваженої суми часткових відстаней між відповідними елементами. У такий спосіб вдається уникнути розв'язання лінійної оптимізаційної задачі пошуку транспортного плану, переходячи до незалежного аналізу кожної координати розподілу.

Перевагами такого підходу є менша обчислювальна складність і швидка інтеграція в системи прийняття рішень. І хоч запропонований підхід надає лише евристичне наближення до розв'язку, який можна отримати за допомогою класичного EMD, порівняння методів за заздалегідь визначеною системою критеріїв гарантує досить ефективний розв'язок задачі.

Концепція реалізації системи формування портфелів сервісів

Компонентно-поєднувальний зразок мікросервісної архітектури системи формування портфелів сервісів, наведений на рис. 1, в загальному вигляді відображає: взаємодію користувачів з системою та системи з зовнішніми компонентами; функціональні структурні елементи і елементи організації їх взаємодії; взаємозв'язки елементів системи.

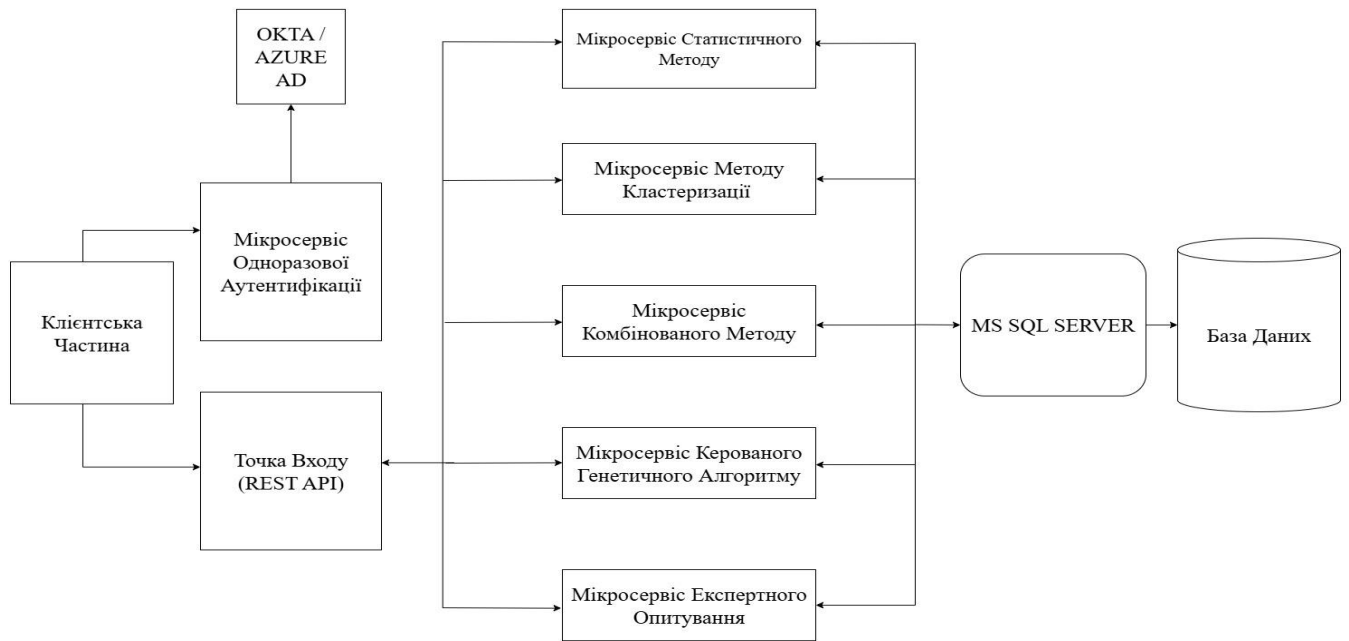


Рис. 1. Компонентно-послужувальний зразок мікросервісної архітектури системи формування портфеля сервісів

Цей зразок є прикладом системи, відображене в архітектурних елементах і їх зв'язках без прив'язки до технологій, протоколів, системного програмного забезпечення.

Клієнтська частина системи відображає користувацький інтерфейс і взаємодіє з серверною частиною системи. Реалізована взаємодія з кінцевим користувачем дозволяє ініціювати процеси формування портфеля сервісів для заданих ІТ-компаній і їх провайдерів або провайдерів і їх клієнтів.

Користувачі системи можуть використовувати методи формування портфеля, переглядати портфелі сервісів, сформовані для ІТ-компаній і їх провайдерів чи провайдерів і їх клієнтів, оцінювати і приймати рішення щодо портфелів, вибирати найбільш придатні методи за різними параметрами, редагувати рішення, дані осіб, які приймають рішення, переглядати статистики та тенденції щодо осіб, які приймають рішення, рішення. Клієнт, це може бути веб-браузер, взаємодіє з системою через HTTP-запити. Відомі фреймворки, наприклад React, дозволяють створити зручну інтерфейсну частину, надаючи структуру та відповідні компоненти.

Для авторизації, аутентифікації, реєстрації і входу в систему користувачів, контролю їхніх сесій та керування доступом до ресурсів використовується OKTA/MS AzureAD мікросервіс одноразової аутентифікації, що базується на зовнішньому сервісі. Це забезпечує захист ресурсів системи і надає користувачам зручний спосіб ініціювання потрібних процесів за допомогою отриманого токена доступу. Доступ до основних функцій системи здійснюється через точку входу API, яка отримує запити від клієнта і пересилає їх відповідним мікросервісам. Користувач, залежно від ситуації та функціональних обов'язків, може отримати доступ до мікросервісу для:

1. Відповідного методу формування портфеля сервісів для вибраного провайдера або для вибраного клієнта провайдера – статистичного, кластеризації, комбінованого чи керованого генетичного алгоритму.

2. Методу експертного оцінювання, який надає можливість оцінити результати застосування мікросервісів для відповідного методу формування портфеля сервісів, порівняти їх результати і сформулювати висновок, який з методів найбільш придатний, а вже остаточне рішення прийме ОПР.

Важливими компонентами системи також є СКБД MS SQL Server, база даних, компоненти третіх сторін, які забезпечують виконання нефункціональних вимог до системи формування портфеля сервісів, підтримуючи функціонування системи на відповідному рівні. Сьогодні

для підтримки функціонування системи відповідні компоненти технологічного рівня можна вибрати у широкому діапазоні. Наприклад, взаємодія і трафік можуть підтримуватися у кластері Kubernetes у внутрішній мережі.

З використанням реалізованої системи формування портфеля сервісів була виконана експериментальна перевірка працездатності методів формування портфелів сервісів, а також методу експертного оцінювання для розв'язання задачі формування портфеля сервісів. Перевірка методу експертного оцінювання виконана на основі даних таблиці наведеного а рис. 1 вигляду. Дані опитувальників експертів (етап 1, крок 6), на яких виконувалося експериментальне дослідження, наведені у таблиці 1.

Були обчислені значення усереднених оцінок експертів (етап 2, крок 1), значення нормалізованих оцінок експертів (етап 2, крок 2), чотири розподіли P_1, P_2, P_3, P_4 , ваги критеріїв (етап 2, крок 4), представлені у вигляді вектору $H = (0.37, 0.34, 0.28)$. На основі отриманих результатів були обчислені евклідові відстані між розподілами P_1, P_2, P_3, P_4 і розподілом ваг критеріїв (етап 2, крок 5), що дозволило обчислити значення метрики (етап 3, крок 1), представлені у вигляді вектору, $E(P, C) = (0.015, 0.021, 0.013, 0.03)$, компонентами якого виступають відстані між розподілами ймовірностей. Отже, на думку експертів найкращим методом формування пакету сервісів є метод M_3 , якому тут відповідає найменше значення метрики 0.013.

Таблиця 1

Приклад матриці зведених даних опитувальників

Експерт	Порядок критеріїв	Оцінка методу M_1 за критеріями K_1, K_2, K_3			Оцінка методу M_2 за критеріями K_1, K_2, K_3			Оцінка методу M_3 за критеріями K_1, K_2, K_3			Оцінка методу M_4 за критеріями K_1, K_2, K_3		
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	2, 3, 1	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4
2	3, 2, 1	9	7	0	6	5	7	5	4	2	4	5	7
3	2, 1, 3	6	6	8	4	3	2	7	7	6	8	9	0
4	1, 2, 3	5	4	6	1	2	3	7	6	5	8	7	9
5	1, 3, 2	8	7	9	5	2	4	8	8	9	3	3	5
6	3, 1, 2	8	9	0	4	3	6	2	3	2	6	5	8
7	1, 2, 3	8	6	8	5	5	6	7	8	9	6	6	8
8	2, 1, 3	5	6	8	1	3	2	7	8	0	6	7	8
9	1, 2, 3	7	6	5	8	7	8	6	4	4	4	5	6

Алгоритми, реалізовані в системі формування портфеля сервісів повинні відповідати умовам сучасного динамічного середовища галузі. Це вимагає відповідності певним нефункціональним вимогам.

Загалом експериментальне дослідження продемонструвало здатність розробленого варіанта методу експертного опитування до безперервної роботи і його працездатність і дозволило виявити такі його переваги: комплексність; здатність працювати в режимі реального часу; масштабованість; адаптивність; об'єктивність; гнучкість; наочність.

Розглянемо детальніше деякі з переваг і як їх вдалося досягнути. Враховуються не тільки оцінки методів, але й ваги критеріїв оцінювання. Реалізована можливість динамічно додавати експертів, критерії оцінювання і нові методи формування пакетів сервісів. Експерти можуть для кожного випадку застосування варіанту методу змінювати ваги критеріїв, що дозволяє реагувати на зміну умов. Реалізована функція моніторингу системи формування портфеля сервісів дозволяє накопичувати статистичні дані, визначати зміни у ефективності методів. Компоненти системи можуть постійно взаємодіяти з іншими компонентами і виконувати дії без значних затримок. Неперервний збір даних дозволяє методу постійно вдосконалювати параметри на основі інформації про використання. Прикладом адаптації до змін у запропонованому варіанті методу є функція формування

критеріїв і врахування нових методів формування портфеля сервісів. Запропонований варіант методу сам по собі не може ефективно враховувати усі зміни, але він надає інструменти користувачам, які дозволяють такі зміни швидко реалізувати. Усі проміжні і остаточні результати візуалізуються. Запропонований варіант можна використовувати для різних задач, які вимагають вибору рішення на основі експертного опитування.

Водночас цьому варіанту методу притаманні і недоліки, до яких належать: зростання потреби в обчислювальних ресурсах для обчислення всіх необхідних параметрів; залежність від суб'єктивної думки експерта; чутливість до нормалізації.

Висновки

Сьогодні формування портфелів інфокомунікаційних сервісів становить невід'ємну частину інструментів в інформаційних системах провайдерів інфокомунікаційних послуг. Найвні методи формування портфелів інфокомунікаційних сервісів побудовані на різних концепціях і їх ефективне застосування визначається низкою параметрів. Тому постає задача вибору найбільш придатного методу формування портфелів сервісів для ІТ-компаній і провайдерів ІКП з урахуванням обмежень, цілей, специфіки ситуацій і сучасних бізнес-концепцій у галузі інфокомунікацій. Експертне оцінювання допомагає врахувати зазначені параметри і вибрати найбільш придатний метод формування портфелів сервісів.

У статті обгрунтовано застосування чотирьох ефективних методів формування портфелів сервісів – статистичного, кластеризації, комбінованого і варіанту керованого генетичного алгоритму і запропоновано варіант методу експертного оцінювання для вибору найбільш придатного в залежності від ситуації.

Експериментальне дослідження вибраного варіанту методу експертного оцінювання підтвердило його працездатність.

Підтверджено, що алгоритми, реалізовані в системі формування пакетів сервісів повинні відповідати умовам сучасного динамічного середовища галузі інфокомунікацій. Для цього вони мають відповідати певним функціональним і нефункціональним вимогам.

Таким чином, відібрані методи формування портфелів сервісів і варіант методу експертного оцінювання забезпечує надійний і формалізований підхід до створення ефективної системи формування портфелів сервісів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tuunanen T., Salo M., Li, F. Modular service design of information technology-enabled services. *Journal of Service Research*. 2022. Vol. 26, № 2. P. 270–282. DOI: 10.1177/10946705221082775 (date of access: 12.05.2025).
2. MacLean D., Titah R. Implementation and impacts of IT Service Management in the IT function. *International Journal of Information Management*. 2023. Vol. 70. P. 102628. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102628> (date of access: 012.05.2025).
3. Вирішення задачі впровадження пакетів сервісів за допомогою статистичної інформації / О. Гавриленко та ін. *Адаптивні системи автоматичного управління*. 2023. Т. 2. № 43. С. 94–107. DOI: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.43.2023.292257> (дата звернення: 25.05.2025).
4. Establishing the grouping principle of public services based on the analysis of similarity coefficients / O. Gavrilenko et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 123, № 3. P. 22–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280218> (date of access: 18.05.2025).
5. Метод формування пакетів послуг за допомогою алгоритмів кластеризації / О. Гавриленко та ін. *Адаптивні системи автоматичного управління*. 2024. Т. 1. № 44. С. 182–191. DOI: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.44.2024.302437> (дата звернення: 14.05.2025).
6. Peppard J. Managing IT as a Portfolio of Services. *European Management Journal*. 2003. Vol. 21, № 4. P. 467–483. [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(03\)00074-4](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(03)00074-4) (date of access: 21.05.2025).
7. Models and methods for forming service packages for solving of the problem of designing services in information systems of providers / V. Chymshyr et al. *Inf. Comput. and Intell. syst. j.* 2024. № 5. P. 29–54. DOI: 10.20535/2786-8729.5.2024.316432 (date of access: 04.05.2025).
8. Villani C. *Optimal Transport, old and new*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 320 p.
9. Загальна теорія статистики / за ред. А. В. Непрана, І. А. Дмитрієва. Харків: ПП Іванченка, 2022. 720 с.
10. Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction* New York: Springer-Verlag, 2009. 420 p.

11. Pele O., Werman M. Fast and Robust Earth Mover's Distances. *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, Kyoto, 2009 / IEEE, 2009. P. 460–467. DOI: 10.1109/ICCV.2009.5459199.

Стаття надійшла до редакції 01.09.2025.

Стаття пройшла рецензування 03.09.2025.

Чимшир Вячеслав Іванович – аспірант кафедри інформаційних систем та технологій,
e-mail: viacheslav.chymshyr@gmail.com.

Омельченко Ростислав Володимирович – магістр кафедри інформаційних систем та технологій,
e-mail: omelchenkorv@gmail.com.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».