

**Десятко Альона Миколаївна**

PhD, доцент,

завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки

Державний торговельно-економічний університет, Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-2284-3418

desyatko@gmail.com

Пазинін Андрій Сергійович

аспірант,

Інститут телекомунікацій і глобального

інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

ORCID: 0009-0002-9506-9539

pazinin@gmail.com

ПАРЕТО-ОРІЄНТОВАНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Анотація. У статті розглянуто актуальну науково-практичну задачу вибору хмарних сервісів (ХС) для закладів вищої освіти (ЗВО) в умовах зростання обсягів освітніх і наукових даних, підвищених вимог до інформаційної безпеки (ІБ) та необхідності дотримання нормативно-правових вимог щодо захисту інформації. Продемонстровано що процес вибору ХС для ЗВО є складною багатокритеріальною задачею. Ця задача характеризується наявністю конфліктних технічних, економічних, безпекових і організаційних критеріїв, оптимізація яких не може бути зведена до одного узагальненого показника. Проведено критичний аналіз існуючих методів та моделей щодо вибору ХС, заснованих на класичних, нечітких та інтегрованих методах багатокритеріального прийняття рішень. Виявлена їх обмеженість у частині формування множини компромісних альтернатив. Запропоновано багатокритеріальну модель вибору ХС для ЗВО, що ґрунтується на концепції Парето-оптимальності та не потребує попереднього задання вагових коефіцієнтів критеріїв. Для розв'язання задачі використано еволюційні алгоритми багатокритеріальної оптимізації NSGA-III та MOEA/D. Проведено обчислювальний експеримент із використанням реалістичних даних Державного торговельно-економічного університету, що характеризують рівень ІБ, продуктивність, вартість та нормативну відповідність ХС. Отримані результати підтвердили здатність обох алгоритмів формувати якісні Парето-оптимальні множини рішень та виявляти компроміси між ключовими критеріями вибору. Показано, що алгоритм NSGA-III забезпечив більш рівномірний розподіл альтернатив у просторі критеріїв, що є важливим для підтримки обґрунтованих управлінських рішень. Практична цінність роботи полягає у можливості використання запропонованої моделі як основи для систем підтримки прийняття рішень щодо впровадження хмарних технологій у закладах вищої освіти.

Ключові слова: хмарні сервіси; багатокритеріальна оптимізація; інформаційна безпека; Парето-оптимальність; еволюційні алгоритми; NSGA-III; MOEA/D; підтримка прийняття рішень; заклади вищої освіти.

ВСТУП

Інформатизація ЗВО в умовах зростання обсягів освітніх і наукових даних зумовило активне впровадження ХС у навчальний, адміністративний та науково-дослідний процеси. Хмарні платформи забезпечили ЗВО масштабованість обчислювальних ресурсів, гнучкість розгортання інформаційних сервісів, підтримку дистанційного навчання, а також зниження капітальних витрат на власну ІТ-



інфраструктуру. Водночас специфіка діяльності ЗВО, в умовах воєнного стану, та відповідно зберігання персональних даних студентів і співробітників, результатів наукових досліджень, освітніх матеріалів та внутрішньої документації висуває підвищені вимоги до далі ІБ та відповідності нормативним вимогам. На практиці вибір ХС для ЗВО є складною управлінською задачею. Цей вибір потребує одночасного врахування технічних, економічних, організаційних і безпекових критеріїв [1 – 12]. З одного боку, необхідно забезпечити високий рівень конфіденційності, цілісності та доступності інформації, відповідно до стандартів ІБ (ISO/IEC 27001, GDPR, національні нормативи). А з іншого досягти прийнятної вартості, продуктивності, масштабованості та якості ХС. Ці критерії, як правило, є суперечливими. Відповідно це унеможливорює їх оптимізацію за одним узагальненим показником. У зв'язку з цим, актуальним є застосування методів багатокритеріальної оптимізації, зокрема еволюційних алгоритмів, які дозволяють сформувати множину Парето-оптимальних рішень без необхідності попереднього задання вагових коефіцієнтів. Саме тому алгоритм NSGA-III та споріднені підходи (MOEA/D, SPEA2) є перспективними інструментами для задач вибору ХС, оскільки забезпечують ефективну роботу з великою кількістю критеріїв та дозволять проаналізувати компромісні рішення. Отже, дослідження, спрямовані на розробку методів підтримки прийняття рішень щодо вибору ХС для ЗВО з використанням еволюційних багатокритеріальних алгоритмів, є релевантною задачею як з наукової, так і з практичної точки зору.

Постановка проблеми.

Процес вибору ХС для ЗВО характеризується наявністю множини альтернатив. Це можуть бути публічні, приватні та гібридні хмарні платформи, різні провайдери та моделі обслуговування IaaS, PaaS, SaaS та багатьох критеріїв оцінювання. До важливих критеріїв в поточних умовах озброєної агресії з боку РФ належать: рівень ІБ (механізми автентифікації, шифрування, контроль доступу, резервне копіювання); відповідність нормативним і правовим вимогам у сфері захисту даних; продуктивність і доступність сервісів; масштабованість та гнучкість конфігурації; вартість впровадження та експлуатації; надійність постачальника та рівень сервісної підтримки.

Зазначені критерії мають різну природу. Також вони вимірюються в різних шкалах та перебувають у конфлікті між собою. Так, наприклад, підвищення рівня ІБ призведе до зростання вартості. Наявні методи вибору ХС, засновані на експертних оцінках або зважених сумах критеріїв. Такі методи не дозволяють об'єктивно врахувати багатовимірність задачі. Відповідно матиме справу із суб'єктивними рішеннями. Отже, виникає науково-практична проблема розробки моделі багатокритеріального вибору ХС для ЗВО з урахуванням вимог ІБ та застосування ефективних алгоритмів еволюційної оптимізації для формування множини Парето-оптимальних альтернатив. Саме це питання й розглядається в роботі.

Аналіз попередніх досліджень.

Проблема вибору ХС та постачальників хмарних ресурсів активно досліджувалась в науковій літературі з використанням методів багатокритеріального прийняття рішень (або Multi-Criteria Decision Making, MCDM). Першочергова увага в роботах [1 – 12] приділялась формалізації критеріїв оцінювання, синтезу ієрархій критеріїв та ранжуванню альтернатив на основі класичних або нечітких MCDM-методів.

Одними з перших системних досліджень з проблематики порівняння ХС викладено в роботі Garg et al. [7]. Автори запропонували фреймворк SMICloud для оцінювання та ранжування ХС на основі набору кількісних і якісних показників. Запропонована модель



стала базою для подальших досліджень. Проте автори орієнтувалися переважно на агреговане ранжування альтернатив. Вони не розглядали множину компромісних рішень.

Подальший розвиток отримали моделі, засновані на класичних методах MCDM. Зокрема це методи АНР, TOPSIS, ANP та їх модифікаціях. Так, Jaiswal і Mishra [8] застосували комбінацію АНР–TOPSIS та нечіткого TOPSIS для вибору ХС. Ці дослідження дозволили врахувати суб'єктивність експертних оцінок. Аналогічно, Whaiduzzaman et al. [10] використали багатокритеріальний аналіз для оцінювання ХС за показниками продуктивності, надійності та вартості.

Роботи Supriya et al. [9] та Kumar R.R. і Kumar C. [1] зосереджені на підвищенні довіри до хмарних провайдерів та розробці методів їх ранжування з урахуванням безпекових та сервісних характеристик. Проте в цих дослідженнях проблема багатокритеріальної оптимізації зводилася лише до отримання єдиного оптимального рішення. Це, відповідно, обмежує можливість аналізу компромісів між критеріями.

Суттєвим кроком уперед стало застосування інтегрованих MCDM-моделей. Так, Youssef [6] запропонував комбінований метод TOPSIS–BWM для визначення ваг критеріїв і ранжування ХС. Подібний інтегрований метод представлено також у роботі [11]. Автори поєднали декілька MCDM-методів для підвищення точності вибору постачальника хмарних послуг.

Окремий напрям досліджень пов'язаний із використанням нечітких та інтуїтивно-нечітких множин для моделювання невизначеності експертних оцінок. Зокрема, Ghorui et al. [4] запропонували MCDM-метод на основі інтуїтивно-нечіткої логіки. Це дослідження дозволило враховувати невизначеність та неповноту інформації при виборі хмарного провайдера. Abdelaziz et al. [3] також удосконалили класичні MCDM-моделі, підвищивши їх чутливість до змін критеріїв оцінювання ХС.

Також на початку 21 сторіччя зріс інтерес науковців до групових методів прийняття рішень. Так, зокрема, Mostafa [2], [12] запропонував метод на основі Best-Only Method (BOM) для групового багатокритеріального вибору ХС. Цей метод дозволив зменшити когнітивне навантаження на експертів і підвищити узгодженість оцінок. У роботі Swathi et al. [5] представлено багаторівневу модель вибору та композиції ХС з використанням АНР–TOPSIS. Метод першочергово орієнтований на складні сценарії використання ХС.

Водночас аналіз існуючих досліджень показав, що переважна більшість MCDM-методів та моделей зводить задачу вибору ХС до ранжування альтернатив або визначення одного “найкращого” рішення. Подібний підхід є обмеженим у випадках, коли кількість критеріїв є великою, а між ними існують суттєві конфлікти, зокрема між вартістю, рівнем безпеки та продуктивністю ХС. Крім того, більшість проаналізованих робіт не враховує специфіку ЗВО як окремої предметної області з підвищеними вимогами до захисту даних та нормативної відповідності законодавству.

Отже, існує наукова прогалина, пов'язана з відсутністю методів, які дозволяють формувати множину Парето-оптимальних альтернатив для вибору ХС у ЗВО. Це обґрунтовує доцільність застосування еволюційних алгоритмів багатокритеріальної оптимізації, зокрема NSGA-III та споріднених методів, які забезпечують ефективну роботу з багатьма критеріями та підтримують прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері освітніх хмарних інфраструктур.

Мета дослідження – розробка та дослідження багатокритеріальної моделі вибору ХС для ЗВО з урахуванням вимог ІБ, а також проведення обчислювального експерименту з використанням еволюційних алгоритмів NSGA-III та MOEA/D з метою порівняльної оцінки їх ефективності при формуванні множини Парето-оптимальних альтернатив.



РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Нехай задано множину альтернатив (a_i) ХС для ЗВО: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ та вектор критеріїв оцінювання $f(a_i) = (f_1(a_i), f_2(a_i), \dots, f_M(a_i))$, де $f_j(a_i)$ – значення j -го критерію для альтернативи (a_i) , що відображають безпекові, технічні та економічні характеристики ХС.

Задача вибору ХС для ЗВО формулюється як задача багатокритеріальної оптимізації: $\min/\max f(a_i)$, $a_i \in A$, де частина критеріїв підлягає мінімізації (зокрема, вартість), а частина – максимізації, рівень безпеки, продуктивність та надійність тощо).

Метою оптимізації є знаходження множини Парето-оптимальних рішень:

$$P^* = \{a_i \in A \mid \nexists a_k \in A: f(a_k) \prec f(a_i)\},$$

де відношення $\prec$ означає домінування за Парето.

У межах дослідження також передбачається аналіз якості отриманих рішень за стандартними метриками багатокритеріальної оптимізації та визначення доцільності застосування кожного з алгоритмів для підтримки прийняття рішень у сфері впровадження ХМ у ЗВО.

Обчислювальний експеримент спрямований на порівняльне дослідження ефективності еволюційних алгоритмів багатокритеріальної оптимізації NSGA-III та MOEA/D при розв'язанні задачі вибору ХС для ЗВО.

Сформуємо набір альтернатив:

f_1 – рівень безпеки (максимізація),

f_2 – продуктивність / доступність (максимізація),

f_3 – вартість володіння (мінімізація),

f_4 – відповідність нормативним вимогам (максимізація).

Для формалізації задачі вибору ХС для ЗВО доцільно визначити набір типових метрик, які комплексно відображають безпекові, технічні, економічні та організаційні характеристики хмарних платформ.

З урахуванням специфіки функціонування ЗВО, а також вимог до захисту персональних даних і стабільності освітнього процесу, сформовано перелік базових метрик оцінювання ХС, наведений у табл. 1.

Таблиця 1

Типові метрики оцінювання хмарних сервісів для ЗВО

Група критеріїв	Метрика	Опис метрики	Тип оптимізації
Інформаційна безпека	Рівень захисту даних	Наявність механізмів шифрування, автентифікації, контролю доступу, резервного копіювання	Максимізація
Інформаційна безпека	Відповідність стандартам	Відповідність ISO/IEC 27001, GDPR, національним нормативам у сфері захисту даних	Максимізація
Продуктивність	Доступність сервісу	Рівень доступності (uptime), стабільність роботи в пікові періоди навчального навантаження	Максимізація



Група критеріїв	Метрика	Опис метрики	Тип оптимізації
Продуктивність	Обчислювальна продуктивність	Пропускна здатність, швидкість обробки даних, час відгуку сервісів	Максимізація
Масштабованість	Гнучкість ресурсів	Можливість динамічного масштабування обчислювальних та мережевих ресурсів	Максимізація
Економічні показники	Вартість володіння	Сукупна вартість використання сервісу (ліцензії, експлуатація, підтримка)	Мінімізація
Організаційні фактори	Надійність провайдера	Репутація постачальника, рівень технічної підтримки, SLA (Service Level Agreement)	Максимізація

Запропонований набір метрик дозволив описати процес вибору ХС для ЗВО як багатокритеріальну задачу з конфліктними цілями, див. таблицю 1. Зокрема, підвищення рівня ІБ та нормативної відповідності, як правило, супроводжується зростанням вартості володіння сервісом, тоді як оптимізація економічних показників може негативно впливати на якісні характеристики. Саме тому подальше дослідження ґрунтувалося на застосуванні еволюційних алгоритмів багатокритеріальної оптимізації, які дозволяють сформувати множину Парето-оптимальних альтернатив без агрегування критеріїв у єдину цільову функцію.

Значення критеріїв масштабуємо до інтервалу $[0,1]$ для коректної роботи еволюційних алгоритмів NSGA-III та MOEA/D, в середовищі Colab, див. рис. 1. Задача сформульована як пошук множини Парето-оптимальних рішень без агрегування критеріїв у єдину цільову функцію.

```
NSGA-III and MOEA/D.ipynb
Файл Змінити Переглянути Вставити Середовище виконання Інструменти Довідка
Команди Код Текст Виконати всі
Параметри експерименту
[1] ✓ 0с
N_GEN = 150
ref_dirs = get_reference_directions(
    "das-dennis",
    n_dim=4,
    n_partitions=8
)
Запуск NSGA-III
[4] ✓ 4с
nsga3 = NSGA3(
    pop_size=len(ref_dirs),
    ref_dirs=ref_dirs
)
res_nsga3 = minimize(
    problem,
    nsga3,
    termination=('n_gen', N_GEN),
    seed=1,
    verbose=False
)
Запуск MOEA/D
[10] ✓ 0с
from pymoo.decomposition.tchebicheff import Tchebicheff
[11] ✓ 0с
moea_d = MOEA_D(
    ref_dirs=ref_dirs,
    n_neighbors=20,
    decomposition=Tchebicheff()
)
[12] ✓ 2с
res_moea_d = minimize(
    problem,
    moea_d,
    termination=('n_gen', N_GEN),
    seed=1,
    verbose=False
)
[13] ✓ 0с
def prepare_df(f, label):
    return pd.DataFrame({
        "Security": -f[:,0],
        "Performance": -f[:,1],
        "Cost": f[:,2],
        "Compliance": -f[:,3],
        "Method": label
    })
```

Рис. 1 – Реалізація пошуку оптимальних ХС для ЗВО

Для обох алгоритмів NSGA-III та MOEA/D використовуємо однакові параметри (розмір популяції, кількість поколінь), що забезпечує коректність порівняння.

Якість отриманих Парето-фронтів оцінюється за: візуальною формою фронту; рівномірністю розподілу рішень; значеннями критеріїв у просторі цілей.

Візуалізація та інтерпретація проведена на підставі аналізу графіку паралельних координат.

На рис. 2 представлено паралельну координатну діаграму Парето-оптимальних альтернатив, отриманих за допомогою еволюційних алгоритмів NSGA-III та MOEA/D у просторі чотирьох критеріїв: рівень безпеки, продуктивність, вартість та нормативна відповідність. Такий тип візуалізації дозволив одночасно оцінити багатокритеріальні профілі альтернатив і виявити характер компромісів між окремими показниками.

Дані показані на підставі статистики використання ХС в Державному торговельно – економічному університеті.

Результати свідчать, що для розглянутого набору даних обидва алгоритми формують рішення з високими значеннями критеріїв безпеки та продуктивності. Це відобразилося у близькому до максимального рівні цих показників для більшості Парето-оптимальних альтернатив. Це підтверджує потенційну здатність як NSGA-III, так і MOEA/D ефективно ідентифікувати області простору рішень, які є найбільш привабливими з точки зору вимог ІБ та експлуатаційних характеристик ХС для ЗВО.

Водночас критерій вартості демонструє мінімальні значення для переважної частини альтернатив. Це вказує на наявність чітко вираженого компромісу між економічними показниками та якісними характеристиками сервісів. Подібна конфігурація Парето-фронту є типовою для задач вибору ХС, де зниження витрат досягається за рахунок оптимального поєднання безпекових та функціональних параметрів, а не шляхом їх зменшення.

Порівняльний аналіз кривих для NSGA-III та MOEA/D показав майже повне накладання у просторі критеріїв, що свідчить про близьку якість отриманих Парето-оптимальних множин у межах даного обчислювального експерименту. Це пояснюється відносно невеликою розмірністю задачі та однорідністю сформованого простору альтернатив. Водночас слід зазначити, що NSGA-III забезпечив більш рівномірний розподіл альтернатив уздовж координатних осей. Це суттєва властивість при подальшому аналізі та виборі компромісних рішень у практичних сценаріях для ЗВО.

Загалом, результати, представлені на паралельній координатній діаграмі, див. рис. 2 підтвердили доцільність застосування еволюційних багатокритеріальних алгоритмів для задачі вибору ХС у закладах вищої освіти.

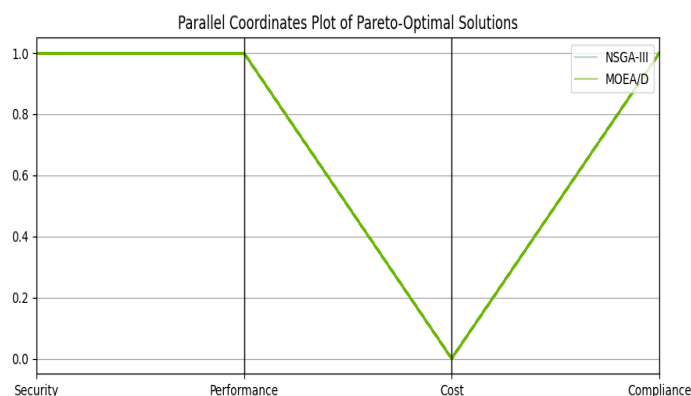


Рис. 2 – Результати розв’язання багатокритеріальної оптимізаційної задачі, представлені на паралельній координатній діаграмі



Отримані Парето-оптимальні множини дозволили не лише ідентифікувати найбільш ефективні альтернативи, але й здійснювати глибокий аналіз компромісів між рівнем безпеки, продуктивністю, вартістю та нормативною відповідністю. Останнє важливе для підтримки обґрунтованих управлінських рішень у сфері впровадження хмарних технологій в освітньому середовищі.

Відмітимо, що актуальність отриманих результатів істотно зростає в умовах збройної агресії російської федерації проти України, що супроводжується зокрема й системними загрозами для функціонування інформаційних систем ЗВО, зокрема порушеннями доступності сервісів, ризиками втрати даних та зростанням інтенсивності кібератак. У таких умовах ХС відіграють роль критичної цифрової інфраструктури, яка забезпечить безперервність освітнього та наукового процесів, а обґрунтований вибір хмарних платформ з урахуванням вимог ІБ та стійкості набув стратегічного значення для українських ЗВО.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто актуальну науково-практичну задачу вибору ХС для ЗВО в умовах зростання вимог до ІБ, нормативної відповідності та ефективності використання ресурсів. Показано, що задача вибору ХС для ЗВО є типовою задачею багатокритеріальної оптимізації з конфліктними критеріями, зокрема між рівнем ІБ, продуктивністю, вартістю та нормативною відповідністю. Це унеможливило її ефективне розв'язання за допомогою традиційних методів агрегування критеріїв. Проведений аналіз попередніх досліджень засвідчив, що більшість існуючих методів базуються на класичних або нечітких MCDM-методах і зводять процес вибору ХС до ранжування альтернатив або визначення єдиного оптимального рішення. Такий підхід є обмеженим і не дозволяє повною мірою врахувати множинність компромісних рішень, характерних для реальних умов функціонування ЗВО.

Запропоновано багатокритеріальну модель вибору ХС для ЗВО, яка ґрунтується на концепції Парето-оптимальності та не потребує попереднього задання вагових коефіцієнтів критеріїв. Це підвищує об'єктивність прийняття рішень і зменшує суб'єктивний вплив експертних оцінок.

У межах обчислювального експерименту реалізовано та порівняно еволюційні алгоритми багатокритеріальної оптимізації NSGA-III та MOEA/D. Для забезпечення коректності порівняння обидва алгоритми використовували однакові параметри, множину критеріїв та умови оптимізації. Результати експерименту показали, що обидва алгоритми здатні формувати Парето-оптимальні множини рішень із високими значеннями критеріїв безпеки та продуктивності за одночасної мінімізації вартості. Це підтверджує доцільність застосування еволюційних підходів для задачі вибору ХС у закладах вищої освіти. Аналіз паралельних координатних діаграм засвідчив, що отримані Парето-оптимальні множини характеризуються чітко вираженими компромісами між економічними та якісними показниками ХС. При цьому алгоритм NSGA-III забезпечив більш рівномірний розподіл альтернатив у просторі критеріїв, що є важливою перевагою з точки зору підтримки управлінських рішень.

Отримані результати демонструють, що використання Парето-орієнтованих еволюційних алгоритмів дозволяє не лише ідентифікувати ефективні альтернативи, але й надати керівництву ЗВО інструмент для глибокого аналізу компромісів між рівнем безпеки, продуктивністю, вартістю та нормативною відповідністю при впровадженні хмарних технологій. Практична цінність дослідження полягає у можливості



використання запропонованої моделі та методики обчислювального експерименту як основи для систем підтримки прийняття рішень щодо вибору ХС у закладах вищої освіти з урахуванням специфіки їх функціонування та актуальних безпекових викликів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kumar, R. R., & Kumar, C. (2017). A multicriteria decision-making method for cloud service selection and ranking. In *Advances in Computer and Computational Sciences: Proceedings of ICCCS 2016, Volume 2* (pp. 139-147). Singapore: Springer Singapore.
2. Mostafa, A. M. (2024). A Group Multi-Criteria Decision-Making Approach Based on the Best-Only Method for Cloud Service Selection. *IEEE Access*.
3. Abdelaziz, A. S., Harb, H., Zaghloul, A., & Salem, A. (2023). An enhanced mcdm model for cloud service provider selection. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(2).
4. Ghorui, N., Mondal, S. P., Chatterjee, B., Ghosh, A., Pal, A., De, D., & Giri, B. C. (2023). Selection of cloud service providers using MCDM methodology under intuitionistic fuzzy uncertainty. *Soft Computing*, 27(5), 2403-2423.
5. Swathi, V. N. V. L. S., Senthil Kumar, G., & Vani Vathsala, A. (2025). Adaptive Multi-Level Cloud Service Selection and Composition Using AHP-TOPSIS. *Applied Sciences*, 15(20), 11010.
6. Youssef, A. E. (2020). An integrated MCDM approach for cloud service selection based on TOPSIS and BWM. *IEEE Access*, 8, 71851-71865.
7. Garg, S. K., Versteeg, S., & Buyya, R. (2011, December). Smicloud: A framework for comparing and ranking cloud services. In *2011 Fourth IEEE International Conference on Utility and Cloud Computing* (pp. 210-218). IEEE.
8. Jaiswal, A., & Mishra, R. B. (2017, January). Cloud service selection using TOPSIS and fuzzy TOPSIS with AHP and ANP. In *Proceedings of the 2017 international conference on machine learning and soft computing* (pp. 136-142).
9. Supriya, M., Sangeeta, K., & Patra, G. K. (2016). Trustworthy Cloud Service Provider Selection using Multi Criteria Decision Making Methods. *Engineering letters*, 24(1).
10. Whaiduzzaman, M., Gani, A., Anuar, N. B., Shiraz, M., Haque, M. N., & Haque, I. T. (2014). Cloud service selection using multicriteria decision analysis. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 459375.
11. "An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Model for Cloud Service Provider Selection". *International Journal of Decision Support System Technology*
12. Mostafa, A. M. (2021). An MCDM approach for cloud computing service selection based on best-only method. *IEEE Access*, 9, 155072-155086.

**Desiatko Alona**

PhD, Associate Professor,
State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0000-0002-2284-3418
desyatko@gmail.com

Pazynin Andrii

Postgraduate student,
Institute of Telecommunications and Global Information
Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0009-0002-9506-9539
pazinin@gmail.com

PARETO-ORIENTED MODEL FOR SELECTING CLOUD SERVICES FOR HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Abstract. The article considers the relevant scientific and practical problem of selecting cloud services (CS) for higher education institutions (HEIs) in the context of growing volumes of educational and scientific data, increased information security (IS) requirements, and the need to comply with regulatory and legal requirements for information protection. The cloud service selection process for HEIs is shown to be a complex multi-criteria task. This task is characterised by the presence of conflicting technical, economic, security and organisational criteria, the optimisation of which cannot be reduced to a single generalised indicator. A critical analysis of existing cloud service selection methods based on classical, fuzzy and integrated multi-criteria decision-making approaches was conducted. Their limitations in terms of forming a set of compromise alternatives have been identified. A multi-criteria model for selecting cloud services for higher education institutions has been proposed, based on the concept of Pareto optimality and not requiring the prior specification of criterion weighting coefficients. To solve the problem, the evolutionary algorithms of multi-criteria optimisation NSGA-III and MOEA/D were used. A computational experiment was conducted using realistic data from the State University of Trade and Economics, characterising the level of information security, performance, cost and regulatory compliance of cloud services. The results confirm that both algorithms are capable of generating high-quality Pareto-optimal solution sets and identify compromises between key selection criteria. It was shown that the NSGA-III algorithm provided a more even distribution of alternatives in the criteria space, which is important for supporting informed management decisions. The practical value of the work lies in the possibility of using the proposed model as a basis for decision support systems for the implementation of cloud technologies in higher education institutions.

Keywords: cloud services; higher education institutions; multi-criteria optimisation; information security; Pareto optimality; evolutionary algorithms; NSGA-III; MOEA/D; decision support.

REFERENCES

1. Kumar, R. R., & Kumar, C. (2017). A multicriteria decision-making method for cloud service selection and ranking. In *Advances in Computer and Computational Sciences: Proceedings of ICCCS 2016, Volume 2* (pp. 139-147). Singapore: Springer Singapore.
2. Mostafa, A. M. (2024). A Group Multi-Criteria Decision-Making Approach Based on the Best-Only Method for Cloud Service Selection. *IEEE Access*.
3. Abdelaziz, A. S., Harb, H., Zaghloul, A., & Salem, A. (2023). An enhanced mcdm model for cloud service provider selection. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(2).
4. Ghorui, N., Mondal, S. P., Chatterjee, B., Ghosh, A., Pal, A., De, D., & Giri, B. C. (2023). Selection of cloud service providers using MCDM methodology under intuitionistic fuzzy uncertainty. *Soft Computing*, 27(5), 2403-2423.
5. Swathi, V. N. V. L. S., Senthil Kumar, G., & Vani Vathsala, A. (2025). Adaptive Multi-Level Cloud Service Selection and Composition Using AHP-TOPSIS. *Applied Sciences*, 15(20), 11010.



6. Youssef, A. E. (2020). An integrated MCDM approach for cloud service selection based on TOPSIS and BWM. *IEEE Access*, 8, 71851-71865.
7. Garg, S. K., Versteeg, S., & Buyya, R. (2011, December). Smicloud: A framework for comparing and ranking cloud services. In *2011 Fourth IEEE International Conference on Utility and Cloud Computing* (pp. 210-218). IEEE.
8. Jaiswal, A., & Mishra, R. B. (2017, January). Cloud service selection using TOPSIS and fuzzy TOPSIS with AHP and ANP. In *Proceedings of the 2017 international conference on machine learning and soft computing* (pp. 136-142).
9. Supriya, M., Sangeeta, K., & Patra, G. K. (2016). Trustworthy Cloud Service Provider Selection using Multi Criteria Decision Making Methods. *Engineering letters*, 24(1).
10. Whaiduzzaman, M., Gani, A., Anuar, N. B., Shiraz, M., Haque, M. N., & Haque, I. T. (2014). Cloud service selection using multicriteria decision analysis. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 459375.
11. "An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Model for Cloud Service Provider Selection". *International Journal of Decision Support System Technology*
12. Mostafa, A. M. (2021). An MCDM approach for cloud computing service selection based on best-only method. *IEEE Access*, 9, 155072-155086.



This work is licensed under Creative Commons Attribution-noncommercial-sharelike 4.0 International License.