22. Исследователи обманули систему распознавания лиц с помощью 3D-маски. URL: Https://3dnews.ru/999755 (дата звернення 05.09.2020).
23. Как распознавание лиц изменит самые различные индустрии URL: Https://ubr.ua/ukraine-and-world/technology/kak-raspoznavanie-lits-izmenit-samye-razlichnye-industrii-3882064 (дата звернення 06.09.2020).
24. Six Ticket Industry Trends You Need to Know for 2020. URL:https://fienta.com/blog/ticket-industry-trends-for-2020/ (дата звернення 01.09.2020).

Статтю подано до редакції 15.09.2020

УДК: 330.341.1:004.75]:330.46]](043.3) DOI 10.33111/mise.99.3

Ващаєв С. С., кандидат економічних наук,
доцент кафедри економіко-математичного моделювання,
Камінський О. Є.,
доктор економічних наук,
доцент кафедри комп'ютерної математики та інформаційної безпеки,
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

Vashchaiev S. S., PhD in Economics,
Associate Professor of the Economic and Mathematical Modelling Department,
Kaminsky O.E., Doctor of Economic Sciences,
Associate Professor of the Department of Computer Mathematics and Information Security,
SHEI KNEU named after V. Hetman

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ГЕДОНІСТИЧНИХ ІНДЕКСІВ ЦІН ДЛЯ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

SYSTEM ANALYSIS OF HEDONISTIC PRICE INDICES FOR CLOUD COMPUTING

Анотація. *Вивчення хмарних сервісів як економічних явищ є актуальним, тому що вони є вагомим ресурсом підвищення ефективності роботи підприємств і організацій. Підприємствам доцільно розробляти економіко-математичні моделі для проведення оптимізації цін та обсягів продажу хмарних сервісів, зважаючи на додаткові обмеження, у тому числі на особливості бізнес-процесів самого підприємства та на специфіку конкретної галузі. Метою статті є системний аналіз проблем ціноутворення в парадигмі хмарних обчислень та визначення ключових характеристик для розрахунку гедоністичних індексів цін на хмарні сервіси. В статті для побудови гедоністичних індексів ціни екземплярів хмарних послуг були використані функціональні та нефункціональні атрибути ціни. Під час аналізу даних були розглянуті варіативні показники для*

© С. С. Ващаєв, О. Є. Камінський, 2020

хмарного постачальника. Отримані результати було використано для методів гедонічного ціноутворення, який передбачає виявлення залежності між ринковими цінами на хмарні продукти та їх об'єктивними характеристиками, що може бути виражено функцією. Важливість гедоністичного індексу цін полягає в тому, що він може бути використаний для визначення запропонованих цін на базі комбінації характеристик, які не були включені або були недоступні під час побудови самого індексу. Моделювання ціноутворення для хмарних послуг, за допомогою гедоністичного підходу, спроможне надавати корисну інформацію не тільки щодо цінової політики, але й щодо аспектів хмарного ринку, оскільки представлені результати також дозволяють проводити порівняльний аналіз різних хмарних провайдерів. Гедоністичні індекси цін є перспективним підходом, а використання нелінійних функціональних форм у формуванні гедоністичних індексів цін для підвищення точність індексу ціноутворення є об'єктом подальших досліджень.
Ключові слова: *хмарні обчислення, хмарні сервіси, моделювання, фактори, ціноутворення, системний аналіз, гедоністичні індекси.*

Abstract. *The study of cloud services as economic phenomena is relevant, since they are a significant resource for increasing the efficiency of enterprises and organizations. It is advisable for enterprises to develop economic and mathematical models for optimizing prices and sales of cloud services, taking into account additional restrictions, including the specifics of the business processes of the enterprise itself and the specifics of a particular industry. The aim of the article is to systematically analyze the pricing problems in the cloud computing paradigm and to determine the key characteristics for calculating hedonic price indices for cloud services. In this article, functional and non-functional price attributes were used to construct hedonic price indices for cloud service instances. When analyzing the data, we looked at the variable metrics for a cloud provider. The results were used for hedonic pricing methods, which involves identifying the relationship between market prices for cloud products and their objective characteristics, which can be expressed as a function. The importance of the hedonic price index is that it can be used to determine proposed prices based on a combination of characteristics that were not included or were not available in the construction of the index itself. Modeling pricing for cloud services, using a hedonic approach, can provide useful information not only on pricing policy, but also on aspects of the cloud market, since the results presented also allow comparative analysis of different cloud providers. Hedonic price indices are a promising approach, and the use of nonlinear functional forms in the formation of hedonic price indices to improve the accuracy of the pricing index is an object of further research.*
Keywords: *cloud computing, cloud services, modeling, factors, pricing, systems analysis, hedonistic indices.*

Вступ. Хмарні обчислення є принципово новою складовою цифрової економіки та вимагають поглибленого аналізу всіх своїх компонентів — організаційних, економічних, юридичних, технічних та технологічних. Вивчення хмарних сервісів як економічних явищ є актуальним, тому що вони є вагомим ресурсом підвищення ефективності роботи підприємств і організацій. Для того щоб мати можливість одержувати економічно ефективні хмарні сервіси, підприємствам доцільно розробляти економіко-

математичні моделі для проведення оптимізації цін та обсягів продажу хмарних сервісів, зважаючи на додаткові обмеження, у тому числі на особливості бізнес-процесів самого підприємства та на специфіку конкретної галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ціни завжди були критичним фактором для компаній, які пропонують послуги або товари [1]. Дослідники Є. Іверотч та інші [2] проаналізували можливі набори цінових моделей, що їх використовують різні компанії, і довели, що ціна пов'язана з набором багатьох неявних аспектів моделей ціноутворення. Цей підхід допомагає у вирішенні багатьох питань, що стосуються ціноутворення між замовником і постачальником.

Типовим підходом до ціноутворення є одноразова плата за необмежений доступ. Але така модель є жорсткою і не враховує багатьох інших факторів, що впливають на ціноутворення, наприклад вік ресурсів або цінову справедливість, як наведено в роботі С. Максвелла [3].

Дослідники Р. Самімі і А. Патель у своїй науковій праці [4] провели аналіз моделей ціноутворення в системах Grid і порівняли їх з тими, що використовуються в хмарних обчисленнях. Вони також визначили відмінності між Grid-системами і хмарними обчисленнями способом порівняння їх методів використання, стандартизації, віртуалізації і SLA. Проте деякі моделі ціноутворення були досліджені недостатньо для того, щоб зробити повні висновки, не буда досліджена справедливість кожної моделі — важливий фактор для аналізу й оцінювання моделей ціноутворення.

Дослідники Дж. Рохітратан і Дж. Альтман у роботі [7] проаналізували чотири динамічні схеми ціноутворення: повторення похідної ціни (DF), обумовлену попитом ціну (DD), проникнення (PN) і «знімання піни» (CK). Вони провели дослідження ринку програмного забезпечення, що дозволило розробити два типи моделей продажу ліцензованого програмного забезпечення. Ці два типи моделей — модель SaaS і «perpetual software» (PS). Було доведено, що схема ціноутворення DD ліпша в ідеальних випадках. Проте в реальному світі отримання повної інформації про клієнтів і конкурентів майже неможливе, що робить схему ціноутворення DD такою, яку важко реалізувати.

Як показують дослідження, провайдери хмарних сервісів використовують різні механізми ціноутворення, включаючи фіксовані моделі ціноутворення, динамічні моделі, модель ціноутворення на основі замовлення, контракти на замовлення послуг. Але ряд технологічних та економічних аспектів, що стосуються ціноутворення

хмарних послуг, недостатньо відпрацьовані у науковому і практичному аспектах і потребують подальших досліджень.

Постановка проблеми. Метою статті є системний аналіз проблем ціноутворення в парадигмі хмарних обчислень і визначення ключових характеристик для розрахунку гедоністичних індексів цін на хмарні сервіси.

Виклад основного матеріалу. Для системного аналізу є необхідним спочатку провести аналіз факторів, які безпосередньо чи опосередковано впливають на ціни екземплярів хмарних послуг, що встановлюються хмарними провайдерами.

У своєму дослідженні вчені С. Вейнхард та інші [8] стверджують, що хмарні обчислення можуть мати успіх на ринку ІТ тільки за умови розробки адекватних методів ціноутворення. Останні можуть бути:

фіксовані — коли клієнт оплачує однакову ціну протягом усього часу;

динамічні — коли ціна змінюється динамічно, тобто коли клієнт платить за реальний час на основі ринкових умов.

Авторами пропонується поділити моделі ціноутворення хмарних обчислень на два основні типи: статичні і динамічні. У статичних моделях ціноутворення ціна залишається незмінною після її визначення. У динамічних моделях ціноутворення ціни змінюються динамічно згідно з такими факторами, як наявність ресурсів, попит тощо. Моделі ціноутворення вимагають врахування додаткових критеріїв: справедливості, можливості реалізації, балансу співвідношення переваг і недоліків, якості обслуговування. В роботі розглянуто модель IaaS — модель, орієнтовану на інтеграцію прикладних пакетів програм всього підприємства, відповідно вибір пристроїв зберігання даних, які можуть бути або жорсткими дисками (HDD) або твердотільними накопичувачами (SSD), може призвести до змін у ціні екземпляра хмарних послуг.

Мета, яка передбачається при аналізі, полягає в тому, щоб завжди отримувати екземпляр послуг з найнижчою ціною, але за параметрами QoS, здатного задовільняти заздалегідь визначеному попиту на обчислювальні послуги. Аналіз наведено в табл. 1.

Колекція хмарних пакетів визначається функціональними та нефункціональними критеріями, що означає, що кожен пакет послуг IaaS включає такі ресурси, як пам’ять (ОЗУ), пам’ять, обчислювальне живлення (ЦП) та операційна система (ОС), які складають функціональні атрибути та окремо, набір нефункціональних ознак.

Таблиця 1

ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЦІНУ ОДИНИЦЬ ПРОДАЖУ ХМАРНИХ ПОСЛУГ ЗА МОДЕЛЛЮ IAAS

Назва фактору	Характеристика
Операційна система	Вибір віртуальної машини, яка використовує операційну систему Windows або Linux, ОС може призвести до суттєвої різниці в ціні екземплярів.
Технічні вимоги	Всі вони згруповані відповідно до певних вимог до обладнання: – обсяг накопичувачів даних; – пам'ять; – кількість ядер центрального процесора; – кількість операцій центрального процесора;
Дисконтна модель	Хмарні провайдери пропонують знижки для користувачів, які придбали сервіс протягом певної кількості часу. Чим довше буде час придбання, тим більшою буде знижка на користування сервісом.
Географічне розташування постачальника	Віртуальні машини хмари розміщуються в різних частинах світу, і ціна екземпляру послуг може значно змінюватися в межах одного хмарного провайдера.
Платіжна модель	Хмарні провайдери також пропонують різні моделі ціноутворення. Наприклад, Amazon EC2 пропонує три моделі ціноутворення: On-demand, Reserved і Spot. On-demand — користувач платить відповідно до використання екземплярів, без довготривалого зобов`язання; Reserved — користувач отримує екземпляри протягом певної кількості часу і, внаслідок цього, сплачує меншу ставку використання (за годину або хвилину); Spot — користувач бере участь у певному аукціоні на невикористані обчислювальні потужності.
Період використання	Користувач може вибрати запуск додатків за різними графіками, щоб досягти зниження вартості їх віртуальної машини. У години пік ціни екземплярів мають тенденцію бути більшими або дисконтна знижка, якщо така є, може ставати нижчою. Кожен провайдер сам визначає пікові години.

Джерело: розробка авторів

Загалом прийнято, що якісні (нефункціональні) вимоги є важливими і можуть мати вирішальне значення для вибору набору послуг хмарних обчислень за моделлю IaaS. Дана категорія вимог зазвичай визначає критерії, за якими можна судити про деякі операції хмарного пакета, а не про конкретну поведінку. В наш час споживачі вимагають не тільки дешевих і повнофункціональних послуг, а й високоякісних продуктів, своєчасної доставки та забезпечення після продажного обслуговування.

Вибір хмарних сервісів IaaS є проблемою прийняття кількох критеріїв (MCDM), що включає безліч критеріїв, які можуть бути як якісними, так і кількісними [7]. Кожна нефункціональна вимога насправді є атрибутом хмарного набору IaaS.

Необхідні загальні нефункціональні параметри послуг хмарних обчислень IaaS включають безпеку, доступність, портативність, масштабованість і зручність використання, і кожен з них становить іншу категорію з відповідними атрибутами. Опис, атрибути та значення всіх цих ознак нами наведено в табл.. 2.

Таблиця 2

ЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ І НЕФУНКЦІОНАЛЬНИХ АТРИБУТІВ ПАКЕТІВ ПОСЛУГ IAAS

Категорія вимог	Атрибути	Значення
Функціональні вимоги (кількісні)	Процесор (v ядра)	1x, 2x, 4x, 8x, 16x, 32x
	ОЗУ (ГБ)	2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256
	Сховище даних (ГБ)	50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000
	Операційна система	Linux / Windows
Нефункціональні вимоги (якісні)	Зашифроване сховище даних	Так / Ні
	Юридичний принцип «Safe Harbor» / Директива захисту даних ЄС 95/46 /ЄС	Так / Ні
	Угода SLA	99,90 % / 99,95 % /99,98 % / 99,99 % /100 %
	Резервне сховище	Так / Ні
	Безкоштовна підтримка	Так / Ні
	Розгон CPU	Так / Ні
	Автоматичне масштабування	Немає / Вертикальне / Горизонтальний / Обидва
	Система моніторингу використання ресурсів	Так / Ні
	Веб-інтерфейс	Так / Ні
	API	Так / Ні
	Один обліковий запис для всіх місць	Так / Ні
	Можливість створення копій хмарного сервера	Так / Ні
	Обмежена безкоштовна пробна версія	Так / Ні

Джерело: розробка авторів

Нефункціональні параметри можуть бути представлені за допомогою логічних змінних, де певні характеристики може отримувати значення 0 або 1.

Дані фактори ми можемо використати для методу гедонічного ціноутворення, який передбачає залежність між ринковими цінами на продукти та їх об'єктивними характеристиками, що може бути виражено функцією.

Гедонічні методи — це регресійні моделі, в яких ціна товару пов'язана з його характеристиками, розглядається як їх функція, лінійна чи нелінійна. Основне припущення полягає в тому, що товар є набором характеристик і що споживачі просто купують набори характеристик замість самого товару. Гедонічний метод розкладає досліджуваний продукт на його характеристики, отримуючи оцінки вартості кожного з них [6]. Ці методи можуть бути використані для побудови якісно скоригованого індексу цін на хмарні сервіси. Гедонічні індекси цін зазвичай використовуються як наближення для того, щоб визначити, скільки грошей споживачеві потрібно в періоді t+1 відносно кількості грошей, необхідної за період t, зберігаючи однаковий рівень корисності. Вирішення цієї проблеми полягає у визначенні профілю споживача та його реакції на різноманітні та швидкі зміни в пропозиції товару.

Основна проблема цього методу полягає в тому, що кожен споживач має потенційно різні потреби та вимоги, і незалежно від того, який саме профіль буде використано, це буде гіпотезою та припущенням, яка відповідатиме конкретній моделі. Також бажання споживачів не є стабільними і можуть змінюватися

Гедонічна функція f (x), пов'язує ряд характеристик продукту з відповідною ціною:

$$P_i = f(X_i) \tag{1}$$

де P_i — ціна виду (або моделі) продукту, який розглядається, а X_i — вектор характеристик, пов'язаних з конкретним видом (моделлю) продукту.

Змінні для розахунку індексів цін ми класифікуємо на дві групи:

— кількісні змінні — які є складовими вимог до обладнання (потужність процесора, обсяг пам`яті, обсяг пристроїв зберігання даних, кількість операцій центрального процесора);

— якісні змінні — які є складовими вимог до хмарного сервісу, в тому числі економічних (тип операційної системи та/або тип платформи, географічне розташування, дисконтна модель, платіжна модель). За отриманими коефіцієнтами регресії можна суди-

ти про те, як той чи той фактор впливає на результат, зробити на цій основі додаткові корисні висновки.

Далі використовується гедонічна функція (1) для ряду різних характеристик видів продукту та розраховується індекс цін. Як тільки будуть визначені характеристики, які слід враховувати для l наборів (моделей) товару (або послуги), необхідно оцінити рівняння:

$$P_i = b_0 + b_1 X_{1i} + b_1 X_{2i} + b_1 X_{1i} + e_i \text{ , } i=1,\ldots, L; \qquad (2)$$

де P_i — ціна виду (або моделі) продукту, який розглядається, X_i — вектор характеристик, пов'язаних з конкретним видом (моделлю) продукту, b_i — коефіцієнти регресії, які необхідно оцінити, а e_i — залишкова регресія у прийнятій функціональній формі. Коефіцієнти регресії оцінюють характеристики, і їх часто називають неявними цінами, оскільки вони позначають ціни, що стягуються за збільшення на одну одиницю значення відповідної характеристики. Неявні ціни схожі на інші ціни, на них впливають попит і пропозиція. У деяких випадках замість фактичних значень використовується натуральний логарифм (ln) ціни. Крім того, функціональна форма індексу може бути нелінійною.

У випадку, коли ціни охоплюють два (або більше) періодів часу t і $t+1$, рівняння, що підлягають оцінюванню, приймають вигляд:

$$P_i = b_0 + b_1 X_{1i} + b_1 X_{2i} + b_1 X_{1i} + e_{it}, \; i=1,\ldots, L; \qquad (3)$$

$$P_i = b_0 + b_1 X_{1i} + b_1 X_{2i} + b_1 X_{1i} + e_{it} + 1, \; i=1,\ldots, L; \qquad (4)$$

де P_{it} — ціна виду (або моделі) продукту, який розглядається за період t, X_i — вектор характеристик, пов'язаних з конкретним видом (моделлю) продукту, b_i — коефіцієнти регресії, які необхідно оцінити, а e_i — залишкова регресія у прийнятій функціональній формі за період t.

У контексті даного дослідження вектор характеристик X_i відповідає конфігурації сервісів хмарної платформи (модель IaaS), яка впливає на ціну, включаючи такі характеристики, як розмір оперативної пам'яті, кількість процесорів, розмір пам'яті, пропускна здатність тощо.

Позитивні коефіцієнти, отримані стосовно операційної системи Windows, означають, що при виборі віртуальної машини, що використовує цю операційну систему, відбувається збільшення кінцевої ціни екземплярів, тобто, екземпляр послуг стає дорожчим, як-

що використовується Windows замість Linux, що узгоджується з тим, що було виявлено під час збору даних. Така ж інтерпретація дійсна для географічного розташування ЦОД, в якому одне з місць розташування ЦОД дешевше, ніж інше (за винятком деяких екземплярів Google, де значення однакові у двох вибраних регіонах).

Такі розрахункові параметри індексу, як індекси вимог відповідності хмарного провайдера положенням директиви європейського союзу № 95/46/ЄС про захист персональних даних, та принципам «Safe Harbor» для американських компаній, є важливим нефункціональним параметром (індекс 50,62), і який показує, що безпека є однією найважливіших проблем користувачів у застосуванні хмарних технологій. Обсяг сховища даних не дуже впливає на ціну (індекс 0,12), що також підтверджує недостатню точність гедоністичного індексу цін, який базується лише на функціональних параметрах. Крім того, можливість створити копії із існуючого хмарного сервера, а потім розгорнути їх на інших серверах (індекс 28,28), а також використання одного облікового запису для управління всіма ресурсами (індекс 25,68), має високий рівень впливу на ціну [9, 10].

Важливість індексу цін полягає в тому, що він може бути використаний для визначення запропонованих цін на комбінації характеристик, які не були включені або вони були недоступні під час побудови індексу.

Висновки. Системний аналіз ціноутворення для хмарних послуг, за допомогою математичного підходу, може надавати корисну інформацію не тільки щодо цінової політики хмарних провайдерів, але й щодо аспектів розвитку хмарного ринку, оскільки гедоністичні індекси цін також дозволяють проводити порівняльний аналіз пропозицій різних хмарних провайдерів. Відсутність механізму, який може запропонувати компаніям можливість порівнювати послуги, пропоновані провайдерами, робить даний підхід перспективним, враховуючи, що в даний час є можливість вся інформація збирати безпосередньо з домашньої сторінки хмарних провайдерів, не затримуючи процес прийняття рішень.

Як і в більшості випадків, 2 даній статті є деякі певні обмеження, які, в свою чергу, вказують напрямки майбутніх досліджень. Наступним кроком автори планують додатково дослідити важливість нефункціональних особливостей при створенні хмарних пакетів послуг й внесок кожного з них у визначення вартості для самих провайдерів. Здається, такі нефункціональні фактори, як безпека та технології копіювання, є важливішими для постачальників ніж функціональні, як обсяг сховища даних.

Крім того, актуальним залишається побудова методу оцінки, здатного кількісно визначити попит на обчислювальну інфраструктуру, необхідну для виконання динамічних інтеграційних хмарних сервісів. У будь-якому випадку, використання гедоністичних індексів цін на хмарні сервіси може надати дуже корисну інформацію не тільки щодо схем ціноутворення, але й щодо стану самого ринку хмарних обчислень, і може запропонувати оптимальні підходи до розробки моделей ціноутворення державних хмарних сервісів в Україні.

Бібліографічні посилання

1. Dutta S., Zbaracki M., Bergen M. Pricing Process as a Capability: A Resource-Based Perspective. *Strategic Management Journal*, vol. 27, 2003. №7. URL: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/ download?doi=10.1.1.522.1472 &rep= rep1&type=pdf.

2. Iveroth E., Westelius A., How to Differentiate by Price: Proposal for a Five-Dimensional Model. *European Management Journal*, 2012. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/ed7e/59b31ea9815c19550740ef 0a226b6039ff5c.pdf

3. Maxwell S. The Price is Wrong: Understanding What Makes a Price Seem Fair and the True Cost of Unfair Pricing. Wiley, 2008. 240 p.

4. Samimi P., Patel A. Review of Pricing Models for Grid and Cloud Computing. *Proc. IEEE Symp. on Comp. and Informatics*, 2011. URL: http://ieeexplore.ieee.org/document/5958990/

5. Google Compute Engine: веб-сайт. URL: https://cloud.google.com/products/compute-engine

6. Ghysels E., Plazzi A., Valkanov R. Chapter 9 — Forecasting Real Estate Prices, Handbook of Economic Forecasting, Elsevier, Volume 2, Part A, 2013, P. 509-580 URL: https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53683-9.00009-8.

7. Rohitratana J., Altmann J. Impact of Pricing Schemes on a Market for Software-as-a-Service and Perpetual Software. *Future Generation Computer Syst*., vol. 28, 2012. № 8. URL: https://econpapers.repec.org/paper/snvdp2009/201288.htm

8. Weinhardt C., Anandasivam A., Blau B. Cloud Computing — A Classification. *Business Models, and Research Directions, Bus. Models and Inform. Syst. Eng.*, vol. 1, № 5, 2009. P. 391-399.

9. Siham, El Kihal; Schlereth, Christian; and Skiera, Bernd, «price comparison for infrastructure-as-a-service» (2012). *ECIS Proceedings*. 161. https://aisel.aisnet.org/ecis2012/161

10. Jin, H., et al., Towards optimized fine-grained pricing of IaaS cloud platform. *IEEE Transactions on cloud Computing*, 2015. 3(4): P. 436-448.

Статтю подано до редакції 12.10.2020