

КІБЕРНЕТИКА та КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 519.85

DOI:10.34229/2707-451X.21.3.5

В.М. ГОРБАЧУК, М.С. ДУНАЄВСЬКИЙ, С.-Б. СУЛЕЙМАНОВ,
Л.О. БАТІГ, Д.І. СИМОНОВ

МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА РИНКУ ХМАРНИХ ПОСЛУГ

Вступ. Бачення обчислювальних комунальних послуг, основане на моделі надання послуг, передбачало масштабну трансформацію всієї обчислювальної галузі у ХХІ столітті, завдяки чому обчислювальні послуги стануть доступними на вимогу, як інші комунальні послуги сучасного суспільства – послуги водопостачання, електропостачання, газопостачання, телефонного зв'язку. Аналогічно користувачі (споживачі) мають платити провайдерам лише тоді, коли отримують доступ до обчислювальних послуг. Крім того, споживачам більше не потрібно вкладати великі кошти чи мати труднощі при побудові та підтримці складної ІТ-інфраструктури.

Використання такого підходу є доцільним, коли пошук оптимального розв'язку прямими методами – це складна проблема як в теоретичному сенсі, так і в сенсі необхідного обсягу розрахунків для задач з конкретними даними. У такій моделі користувачі отримують доступ до послуг, виходячи зі своїх вимог, незалежно від місця базування послуг. До 2007 р. ця модель була відома як службові обчислення, а згодом – як хмарні обчислення (ХО). Останні часто означають інфраструктуру як хмару, з якої фізичні та юридичні особи можуть отримувати доступ до застосунків як сервісів у будь-якій точці світу на вимогу. ХО можна класифікувати як нову парадигму для динамічного забезпечення обчислювальних послуг, що підтримуються найсучаснішими центрами обробки даних (ЦОД), які застосовують технології віртуалізації для консолідації та ефективного використання ресурсів. ХО надають не лише надзвичайно гнучке середовище для побудови нових систем і застосунків, але й можливість інтеграції додаткової спроможності чи функції в існуючі системи. Використання динамічно забезпечених ІТ-ресурсів – економічно вигідніша можливість, ніж придбання додаткових інфраструктури і програмного забезпечення (ПЗ), потреби в яких є обмеженими в часі, а розмір яких непросто оцінювати: саме це стало вирішальною перевагою ХО і сприяло їх швидкому поширенню у світі.

Модель брокера хмарних послуг вимагає вторинних даних, що містять технічні характеристики продукції, річні звіти, відкриті дані вебсайтів учасників ланцюга вартості. Різні хмарні брокери по-різному ставляться до вибору важливих рішень для свого бізнесу. Рішення можуть стосуватися ціноутворення, планування і використання потужностей.

Ключові слова: оптимізація, портфель, невизначеність, булеві змінні, генерування доходів.

© В.М. Горбачук, М.С. Дунаєвський,
С.-Б. Сулейманов, Л.О. Батіг,
Д.І. Симонов, 2021

Обчислення перетворюються на модель, яка складається з послуг, що постачаються як товари подібно комунальних послуг (водопостачання, електропостачання, газопостачання, телефонного зв'язку) [1]. У такій моделі користувачі отримують доступ до послуг, виходячи з їхніх вимог, незалежно від базування (хостингу) цих послуг [2]. У кількох парадигмах обчислень (зокрема, сіткових обчисленнях) планується надавати подібні обчислювальні послуги. ХО виходять з нової такої парадигми [3], які є новітньою технологією, що при побудові ПЗ зосереджується на способах проектування комп'ютерних систем, розробки застосунків і звертання до існуючих сервісів [4]. Ця технологія основана на концепції динамічного забезпечення (dynamic provisioning), що стосується не тільки обслуговування, але й обчислювальних спроможностей, мережних можливостей, ресурсів зберігання та інфраструктури інформаційних технологій загалом [5]. Встановлюється доступ до зазначених послуг через Інтернет від постачальників (vendors) ХО на основі плати за обсяг використання (pay-per-use). Сьогодні кожна особа з кредитною картою може передплатити хмарні сервіси та розгортати сервери для застосунку протягом годин, збільшуючи і зменшуючи інфраструктуру, яка обслуговує застосунок відповідно до попиту особи, здійснюючи платежі лише за час використання потрібних ресурсів.

29 жовтня 1969 р., за півтори години до опівночі, студент Чарлі Клайн (Charley Kline) з комп'ютера SDS Sigma 7 свого професора Леонарда Клейнрока (Leonard Kleinrock) у приміщенні Boelter Hall 3420 Університету Каліфорнії Лос-Анджелес (University of California Los Angeles, UCLA) відправив текстове повідомлення «login» на комп'ютер SDS 940 Стенфордського дослідного інституту (Stanford Research Institute, SRI) у м. Менло Парк (Menlo Park) затоки Сан Франциско, але дійшло лише повідомлення «lo», а система вийшла з ладу. Приблизно за півгодини до опівночі система відновилася і передала повідомлення повністю. Через три тижні, 21 листопада 1969 р., було встановлено перший постійний лінк ARPANET [6] між спеціалізованим міні-комп'ютером (який дістав назву інтерфейсного процесору повідомлень (Interface Message Processor, IMP)) UCLA та IMP SRI. Ще через два тижні, 5 грудня 1969 р., було створено початкову мережу з чотирьох вузлів. У 1969 р. прес-реліз UCLA повідомив про новий ARPANET, а Клейнрок зазначив: «На сьогоднішній день комп'ютерні мережі все ще перебувають у своєму зародковому стані, але по мірі їх зростання та вдосконалення ми, мабуть, побачимо поширення комп'ютерних комунальних послуг, які обслуговуватимуть окремі будинки й офіси по всій країні, подібно до сучасних електричних і телефонних комунальних послуг». Клейнрок народився у 1934 р. у сім'ї вихідців з України й отримав науковий ступінь доктора філософії з електротехніки та комп'ютерних наук Массачусетського інституту технологій (Massachusetts Institute of Technology, MIT) у 1963 р. Книги Клейнрока перекладалися російською [7–9].

ХО дозволяють орендувати інфраструктуру, середовища робочого часу (runtime) та послуги на основі плати за обсяг використання. Це має ряд практичних застосувань з різними уявленнями про ХО для різних людей. Керівники великих підприємств з питань інформації (chief information officers, CIOs) та технологій (chief technology officers, CTOs) бачать можливості для масштабування їхньої інфраструктури на вимогу і для її вимірювання відповідно до їхніх ділових потреб. Кінцеві користувачі, звертаючись до сервісів ХО, можуть отримувати доступ до своїх документів і даних у будь-який час, у будь-якому місці та з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету. У 2007 р. на виставці Web 2.0 Expo, один з поглядів на ХО висловив віце-президент і євангеліст платформи Joyent (www.joyent.com, заснував у 2004 р. Девід Пол Янг (David Paul Young), який отримав науковий ступінь бакалавра з класичних досліджень Університету Індіани (Indiana University) США Роб Бутбі (Rod Boothby), який отримав науковий ступінь магістра економіки Університету Саймона Фрейзера (Simon Fraser University) Канади у 1997 р. У 2016 р. компанія Samsung Electronics (присутня в лістингах Кореїської біржі (Korea Exchange, KRX), Лондонської біржі (London Stock Exchange, LSE), Франкфуртської біржі (Frankfurter Wertpapierbörse, FWB), Бразильської біржі (Brasil, Bolsa, Balcão, B3)) оголосила про придбання

Joyent. На цій виставці свої погляди на зародження ХО висловили СІОs, СТОs, головні виконавчі директори (chief executive officers, CEOs), засновники ІТ-компаній. Спільна точка зору виявилася такою: не є важливим, де знаходяться сервери і хто ними керує, де зберігаються документи і де розміщуються програми, є важливим, щоб документи завжди були в наявності та доступними з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету. Опитування показало готовність клієнтів платити за використані послуги ХО.

Вищенаведена концепція схожа до способу користування такими послугами, як електропостачання і водопостачання: ХО перетворюють ІТ-послуги на комунальні послуги. Ця модель постачання послуг стала можливою завдяки ефективному поєднанню кількох технологій, що досягли відповідного рівня зрілості. Технології Web 2.0 відіграють центральну роль для перетворення ХО у вигідну можливість побудови обчислювальних систем. Ці технології перетворили Інтернет у платформу з розмаїттям застосунків і послуг, достатньо зрілу для задоволення складних потреб. Орієнтація на послуги дозволяє ХО надавати свої спроможності за допомогою звичних абстракцій, а віртуалізація надає ХО необхідний ступінь налаштування (customization), управління та гнучкості для побудови виробничих і корпоративних систем.

При широкому розгортанні систем ХО відповідні базові технології і системи стають консолідованими і стандартизованими. Така організація ХО стала фундаментальним кроком у втіленні довгострокового бачення ХО, який забезпечує вільне середовище, де обчислення, зберігання та інші комп'ютерні послуги можуть бути комунальними обчислювальними послугами для купівлі-продажу.

ХО дозволяють надавати віртуальні обладнання, середовища робочого часу, послуги для кожної особи з кредитною картою. Вони використовуються стільки часу, скільки потрібно, без попередніх зобов'язань. Весь стек обчислювальної системи перетворюється на набір службових програм, які можна створити та скласти для розгортання системи протягом годин, а не днів, і практично без витрат на технічне обслуговування. Така можливість стала реальною для багатьох областей застосунків і галузей діяльності. Бачення ХО виходить з попиту і пропозиції. Попит формують особи, які хочуть: звідусіль отримувати доступ до своїх документів і фотографій, а також редагувати їх; зосереджуватися на логіці застосунків, а не питаннях обслуговування та масштабування; розвивати свою розпочату справу, незважаючи на нестачу інвестицій в інфраструктуру; розвивати свою інфраструктуру, але не знають тривалість її життєвого циклу. Пропозицію формують особи, які мають: інфраструктуру та надають послуги застосунків; інфраструктуру з проміжним ПЗ (middleware) і можуть розміщувати (host) застосунки; надлишкову інфраструктуру, якою хочуть скористатися; надмірну інфраструктуру, яку можуть надавати в оренду. Попит пришвидшив технічний розвиток і збагатив набір пропонованих послуг ХО, які при цьому стали дешевшими і складнішими.

Незважаючи на багаторічну еволюцію використання ХО, воно часто обмежується єдиним сервісом на даний час або набором супутніх сервісів, пропонованих єдиним постачальником. Якщо не докладати ефективних зусиль зі стандартизації, то складно переміщувати сервіси від одного постачальника ХО до іншого. У довгостроковому плані, ІТ-послугами торгуватимуть як комунальними послугами на відкритому ринку без юридичних і технологічних бар'єрів. На цьому хмарному торговому майданчику (marketplace) центральну роль відіграють провайдери і споживачі хмарних сервісів як комунальних послуг.

Такому баченню сприяє багато існуючих технологічних елементів. Різні зацікавлені особи (stakeholders) звертаються до хмар для різноманітних послуг. Необхідність повсюдного (ubiquitous) зберігання та обчислювальної потужності на вимогу – це найпоширеніша причина попиту на ХО. Масштабований робочий час для застосунків є вигідним варіантом для розробників програм і систем, які не мають інфраструктури чи не можуть дозволити собі подальшого розширення

існуючої інфраструктури. Спроможність веб-доступу до документів та їх обробка за допомогою складних програм є одним з основних чинників попиту кінцевих користувачів.

Заслужують уваги уявлення про ХО, ключові особливості та їх технології, відстеження сприятливих для ХО середовищ і технологічних розробок. Оптимізацію можна застосувати при розробці засобів менеджменту прибутковості для брокера хмарних послуг (хмарного брокера, ХБ), який працює за певною бізнес-моделлю. Від імені керуючої телекомунікаційної холдингової компанії (телекомунікаційного оператора) цей брокер інтегрує, агрегує та налаштовує ПЗ і послуги зберігання даних сторонніх постачальників ПЗ в Інтернеті (Internet software vendors, ISVs). Такий брокер отримує лише фіксовані комісійні від цієї компанії, виходячи з абонплати, але не платить ліцензійні внески до ISV і не дістає платежі від продажів пакетів послуг. Загалом брокер хмарних послуг – це організація, що веде переговори про взаємовідносини між клієнтами хмарних послуг та ISVs. ХБ може створюватися на засадах різних бізнес-моделей відносно типу послуги (платформа, інфраструктура, ПЗ), типу клієнтів (підприємство, домогосподарство), виконуваних функцій (менеджмент ідентичності (identity), облік, виставлення рахунків, встановлення місцезнаходження тощо), ступеня ребрендингу, міри агрегування послуг та інших критеріїв. Тому різні хмарні брокери мають різне ставлення до того, як обирати важливі для свого бізнесу рішення. Рішення можуть стосуватися ціноутворення, планування та використання потужностей в поєднанні з питаннями якості обслуговування, безпеки, масштабованості та іншими [10–13]. Зосередимось на ХБ, який виступає посередником від ПЗ як послуги (software as a service, SaaS) до приватних домогосподарств, малих і середніх підприємств.

Одне з ключових рішень для ХБ – це вибір послуг та їх пакетів, щоб запропонувати своїм клієнтам. Інтегрування, агрегування та налаштування таких послуг від різних ISVs може займати багато часу і відповідних зусиль. Більше того, час і ресурси, що використовуються для створення пропозицій послуг, не є відомими. Також не є відомим попит на ці послуги. Таким чином, ХБ треба раціонально розподіляти свій час і людські ресурси при розробці таких послуг та їх пакетів.

При розробці портфеля послуг для ХБ корисною є модель порівняння наслідків його рішень. Запропонована модель підтримує рішення щодо вибору набору продуктів (продукції) при обмежених ресурсах з точки зору обліку витрат. Оскільки участь у хмарних послугах задається бінарними числами, то модель також застосовує постановки задач про рюкзаки [14]. З іншого боку, модель портфеля послуг подібна до моделі фінансового портфеля тим, що пакети послуг і послуги генерують дохід, а експлуатація та підтримка послуг використовує дефіцитні фактори різного характеру (фінанси, робочий час, компетентність та інші). Теорія фінансового портфеля, яку започаткував Нобелівський лауреат 1990 р. Марковіц, нині включає багато оптимізаційних моделей і застосувань [15]. Такі моделі застосовуються до сучасних інформаційно-комунікаційних послуг [16–18].

Для запропонованої моделі використовувалися характеристики певного кейсу [13]. Нехай ХБ є дочірньою компанією у повній власності великої телекомунікаційної холдингової корпорації. Цей брокер орендує платформу у стороннього провайдера, яка сприяє зв'язку між користувачами та послугами Інтернет-провайдерів. За допомогою цієї платформи ХБ інтегрує, підтримує і компонує пакети послуг на запит інших пов'язаних фірм даної корпорації – продавців послуг. Платформа, яку орендує та якою управляє ХБ, забезпечує інфраструктуру, необхідну для надання послуг (менеджмент ідентичності та доступу, облік, ціноутворення, виставлення рахунків, веб-дизайн тощо). Такі послуги, які інтегруватимуться, підтримуватимуться та комплектуватимуться на орендованій платформі, надаються сторонніми ISVs. Продавці послуг задовольняють попит кінцевих клієнтів на послуги та їх пакети.

ХБ безпосередньо не приймає рішення щодо складу запропонованих послуг і щодо цінової чи маркетингової політики для цих послуг та їх пакетів. Крім того, ХБ безпосередньо не сплачує ліцензійних зборів до ISVs: застосовуючи платформу, ліцензійні збори (за оптовими цінами) до

ISVs сплачують продавці послуг, які отримують платежі (за роздрібними цінами) від клієнтів. Продавці послуг також сплачують комісійні ХБ за інтегрування послуг, створення пакетів послуг, надання відповідної інфраструктури. Ці комісійні складаються з фіксованої частини та змінної частини, залежної від числа підписників послуг. Комісійні узгоджуються ХБ і телекомунікаційною корпорацією, де переговорна сила ХБ спирається на обґрунтовані аргументи щодо прибутковості та економічної ефективності. ХБ працює у певній мережі, вузлами якої можуть бути:

ISV, що постачає офісне ПЗ, отримує оптову ціну від продавця послуг, і надає послугу бізнес-версії офісного ПЗ до ХБ;

ISV, що надає хмарні послуги зберігання даних, отримує оптову ціну від продавця послуг, і надає хмарну послугу зберігання великих даних до ХБ;

продавець послуг платить оптові ціни до ISVs і комісійні до ХБ, отримує платежі від клієнтів;

ХБ отримує послуги від ISVs та комісійні від продавця послуг, надає пакети послуг клієнтам; клієнти отримують пакети послуг від ХБ і сплачують роздрібні ціни до продавця послуг.

З одного боку, ХБ пропонується вести свій бізнес економічно доцільним способом, з іншого боку, цей брокер має обмежений вплив на маркетинг, ціноутворення і склад портфеля послуг, бо простір рішень брокера – це узгодження комісійних і менеджмент витрат. При узгодженні комісійних брокер потребує надійного способу оцінки прибутковості елементів портфеля послуг.

Базова модель підтримки прийняття рішень ХБ спирається на детерміновані вхідні дані. Ця модель пропонує склад оптимального портфеля хмарних послуг, коли брокер може автономно контролювати свій портфель послуг. Оскільки брокер інтегрує послуги і пакети від імені своїх клієнтів (продавців послуг), то модель підкреслює невідповідність між послугами, які мають надаватися, і послугами, які надаються. Тоді модель може використовуватися, щоб виводити орієнтири для цільових значень витрат, використання часу та комісійних платежів. Модель генерує стимули для заходів зниження витрат, повторного узгодження брокерських (посередницьких) або комісійних зборів, повторного узгодження інтеграції послуг. Це дозволяє керівництву комунікувати про стимули з продавцями послуг, а також з їхніми командами.

Базова оптимізаційна модель у випадку визначених вхідних даних вимагає реалістичної й цілісної картини причинно-наслідкових зв'язків між витратами і доходами, з одного боку, а також між об'єктами витрат (послугами, групами послуг, ISVs, пакетами послуг) і ринками, з іншого боку. Що стосується обліку витрат, слід класифікувати змінні та фіксовані доходи і витрати, а також прямі та непрямі доходи і витрати. Змінні витрати залежать від обсягу виробництва відповідного об'єкта витрат, а фіксовані витрати не залежать від такого обсягу. Прямі витрати можна відстежувати безпосередньо до об'єкта витрат (продукту, ринку, підрозділу), а непрямі витрати – ні. Базова модель вимагає належної ієрархії об'єктів витрат (чи доходів), а також з'ясування прямих витрат кожного такого об'єкта. Припустимо, для досліджуваного ХБ найважливішими є такі суб'єкти:

глобальні ISVs (Microsoft, F-secure, Jottacloud тощо);

місцеві чи пов'язані з місцевим ринком ISVs (Microsoft Moldova, Microsoft Ukraine тощо);

сімейства чи групи послуг (Office 365 Suites);

окремі послуги (Lync Online, Office 365 Business Essentials тощо);

пакети послуг (мобільна передплата з конкретними сховищем Office 365, хмарним сховищем, Інтернет-телефонією);

географічні ринки суміжних держав (Білорусь, Молдова, Польща, Російська Федерація, Румунія, Словаччина, Угорщина, Україна);

клієнти (продавці пакетів послуг).

Ідентифікація цих суб'єктів та їх взаємозв'язків може залежати не тільки від виключно фінансових міркувань, але й від юридичних або технологічних характеристик, які впливають на використання ресурсів і відповідні витрати. У моделі глобальні ISVs відрізняються від місцевих

або пов'язаних з місцевим ринком ISVs, хоча послуга, яку надає деякий ISV, може бути по суті однаковою на різних ринках у сенсі встановлення цієї послуги на платформі, генерування інтерфейсів, її інтеграції та інтероперабельності з іншими послугами. Однак ця послуга, що надається різним ринкам, може вимагати специфічних для ринків локальних дій: наприклад, контракти між ISVs і ХБ мають пристосовуватися до місцевих законодавчих баз, а платежі мають вказуватися у відповідній валюті. Крім того, необхідно дотримуватися місцевих або національних юридичних вимог щодо портабельності даних, місцезнаходження обробки і зберігання даних.

Введемо бінарну змінну x_O , значення якої дорівнює 1 (якщо ХБ пропонує послуги продавцю послуг – клієнту ринку чи бізнес-підрозділу, який генерує дохід) або 0 (якщо ХБ не пропонує послуги). Всі накладні (overhead) видатки, яких неможливо пов'язувати з будь-яким іншим суб'єктом, пов'язуватимуться з x_O . Накладних видатків не буде при $x_O = 0$, коли ХБ не треба пропонувати послуги. Значення x_O в оптимізаційній моделі говоритиме про потребу пропонувати послуги брокера. Якщо $x_O = 0$, то значення решти бінарних змінних також будуть рівнятися 0, якщо ж $x_O = 1$, то деякі чи всі інші змінні можуть рівнятися 1 (означаючи активацію суб'єктів).

Нехай у брокера є N_C клієнтів (clients), які продають пакети послуг, створені ХБ. Бінарна змінна $x_{C,g}$ вказує, чи обслуговуватиме ХБ продавець $g = 1, \dots, N_C$ послуг. Обмеження

$$x_{C,g} \leq x_O, \quad g = 1, \dots, N_C, \quad (1)$$

гарантують неактивність продавців послуг за неактивності брокера. ХБ здійснює посередницьку діяльність або поєднує послуги ISVs. При інтегруванні ISV на платформу слід брати до уваги як технологічні перспективи (послуги ISVs мають бути доступними на платформі), так і ринкові перспективи (для продажу послуг на різних ринках мають задовольнятися юридичні, контрактні чи інші специфічні для ринку вимоги), – технологічні ISVs та ринкові ISVs.

Нехай клієнти брокера продають свої послуги до N_M місцевих ринкових (market) ISVs. Припустимо, на місцевому ринку може продавати лише один продавець h послуг:

$$x_{M,h} \leq x_{C,g}, \quad g = 1, \dots, N_C, \quad (2)$$

для всіх h з множини $X_{MC,g}$ ринкових ISVs, які можуть враховуватися у портфелі послуг на ринку g , де змінна $x_{M,h}$ – бінарна. Нехай місцеві ISVs купують послуги від N_V технологічних ISVs. Ринкові ISVs не є доступними, якщо не є технологічно інтегрованими на платформі:

$$x_{M,h} \leq x_{V,k}, \quad k = 1, \dots, N_V, \quad (3)$$

для всіх h з множини $X_{MV,k}$ ринкових ISVs, які можуть формуватися від глобальної ISV k , де змінна $x_{V,k}$ – бінарна.

ISVs місцевих ринків надають послуги, з яких формуються пакети (ринково орієнтовані послуги) для продажу на ринки, які генерують дохід. Нехай ці ринки купують N_S таких окремих послуг (services), як офісне ПЗ, резервне копіювання (backup), зберігання, підключення, безпека, зв'язок, електронна пошта тощо. Бінарна змінна $x_{S,i}$ вказує, чи послуга $i = 1, \dots, N_S$ буде реалізованою або присутньою на платформі: якщо $x_{S,i} = 1$, то ця послуга буде реалізованою або присутньою на платформі, якщо ж $x_{S,i} = 0$, то ця послуга не буде реалізованою або присутньою на платформі (послуга буде усуненою з платформи). Ринково орієнтовані послуги не є доступними, якщо відповідний ISV місцевого ринку не є реалізованим на платформі:

$$x_{S,i} \leq x_{M,h}, \quad h = 1, \dots, N_M, \quad (4)$$

для всіх i з множини $X_{SM,h}$ послуг, які надає ISV h місцевого ринку.

Послуги часто бувають у різних версіях, що стосуються різних сегментів ринку, – у версіях для приватних користувачів, студентів, малих або великих підприємств. Якщо однакове ПЗ пропонується в різних версіях, то вважаємо їх різними послугами з відповідними змінними $x_{S,i}$. Оскільки реалізація різних версій одного ISV чи постачальника ПЗ часто потребує спільних витрат, то виділяються групи (сімейства) послуг. Після успішної інтеграції групи ПЗ на платформі цю групу можна розповсюджувати в різних версіях до різних користувачів і різних ринків. Після реалізації ПЗ на платформі вихід нової версії ПЗ на ринок часто потребує деяких витрат.

Бінарна змінна $x_{G,j}$ вказує, чи група (group) $j=1,\dots,N_G$ послуг буде реалізованою або присутньою на платформі із специфічною для ринку послугою: якщо $x_{G,j}=1$, то ця група послуг буде реалізованою або присутньою на платформі, якщо ж $x_{G,j}=0$, то ця група послуг не буде реалізованою або присутньою на платформі. Оскільки окремі послуги належать до груп послуг, що потребують спільних витрат при інтеграції на платформі, то окремі послуги не є доступними, якщо групи послуг не є інтегрованими на платформі:

$$x_{S,i} \leq x_{G,j}, \quad j=1,\dots,N_G, \quad (5)$$

для всіх i з множини $X_{SG,j}$ послуг, які містяться у групі j послуг. Після успішної інтеграції послуги на платформі ця послуга розповсюджується окремо чи в складі різних пакетів послуг.

Нарешті, послуги поєднуються у потенційні пакети послуг, які вважаються специфічними для ринків. Бінарна змінна $x_{B,l}$ вказує, чи пакет (bundle) l послуг буде запропонованим від специфічної для ринку послуги: якщо $x_{B,l}=1$, то цей пакет послуг буде запропонованим для клієнтів, якщо ж $x_{B,l}=0$, то цей пакет послуг не буде запропонованим для клієнтів, не буде складеним чи буде відхиленним. Пакети послуг можуть складатися з однієї послуги чи багатьох послуг. Пакет послуг не може існувати, якщо на платформі не встановлені допоміжні послуги:

$$x_{B,l} \leq x_{S,i}, \quad i=1,\dots,N_S, \quad (6)$$

для всіх l з множини $X_{BS,i}$ потенційних пакетів послуг, яким може сприяти послуга i

Загальний дохід (прибуток) ХБ задається функцією

$$\Pi = \pi_O x_O + \sum_{g=1}^{N_C} \pi_{C,g} x_{C,g} + \sum_{i=1}^{N_S} \pi_{S,i} x_{S,i} + \sum_{l=1}^{N_B} \pi_{B,l} x_{B,l} + \sum_{h=1}^{N_M} \pi_{M,h} x_{M,h} + \sum_{j=1}^{N_G} \pi_{G,j} x_{G,j}, \quad (7)$$

де Π , π_O , $\pi_{C,g}$, $\pi_{S,i}$, $\pi_{B,l}$, $\pi_{M,h}$, $\pi_{G,j}$ – чистий дохід відповідного суб'єкта (учасника), який розраховується на підставі доходів і витрат (поточних вартостей, основаних на грошових притоках і витоках). У свою чергу, у доходах і витратах можна виділяти фіксовані та змінні складові, пов'язані з робочим часом, часом обробки, числом абонентів або користувачів тощо.

ХБ може стикатися з кількома фінансовими чи операційними обмеженнями, наприклад, обмеженнями на людські ресурси, потрібні для юридичної та технічної підтримки пакетування послуг: критичним ресурсом є час, необхідний для інтегрування та підтримування послуг на платформі. Позначимо Q_T наявний обсяг (quantity) часу (time) і позначимо q_O , $q_{C,g}$, $q_{S,i}$, $q_{B,l}$, $q_{M,h}$, $q_{G,j}$ обсяг використання часу відповідним суб'єктом:

$$Q_T \geq q_O x_O + \sum_{g=1}^{N_C} q_{C,g} x_{C,g} + \sum_{i=1}^{N_S} q_{S,i} x_{S,i} + \sum_{l=1}^{N_B} q_{B,l} x_{B,l} + \sum_{h=1}^{N_M} q_{M,h} x_{M,h} + \sum_{j=1}^{N_G} q_{G,j} x_{G,j}. \quad (8)$$

Таким чином, оптимізаційну модель ХБ можна сформулювати як максимізацію цільової функції (7) за бінарними змінними x_O , $x_{C,g}$, $x_{S,i}$, $x_{B,l}$, $x_{M,h}$, $x_{G,j}$ при обмеженнях (1) – (6), (8).

Для стислості постановки задачі максимізації функції (7) при обмеженнях (1) – (6), (8) введемо векторні позначення:

$$\begin{aligned} \bar{\pi}_C &= (\pi_{C,1}, \dots, \pi_{C,N_C}), & \bar{\pi}_V &= (\pi_{V,1}, \dots, \pi_{V,N_V}), & \bar{\pi}_M &= (\pi_{M,1}, \dots, \pi_{M,N_M}), \\ \bar{\pi}_G &= (\pi_{G,1}, \dots, \pi_{G,N_G}), & \bar{\pi}_S &= (\pi_{S,1}, \dots, \pi_{S,N_S}), & \bar{\pi}_B &= (\pi_{B,1}, \dots, \pi_{B,N_B}), \\ \bar{q}_C &= (q_{C,1}, \dots, q_{C,N_C}), & \bar{q}_V &= (q_{V,1}, \dots, q_{V,N_V}), & \bar{q}_M &= (q_{M,1}, \dots, q_{M,N_M}), \\ \bar{q}_G &= (q_{G,1}, \dots, q_{G,N_G}), & \bar{q}_S &= (q_{S,1}, \dots, q_{S,N_S}), & \bar{q}_B &= (q_{B,1}, \dots, q_{B,N_B}), \\ \bar{x}_C &= (x_{C,1}, \dots, x_{C,N_C}), & \bar{x}_V &= (x_{V,1}, \dots, x_{V,N_V}), & \bar{x}_M &= (x_{M,1}, \dots, x_{M,N_M}), \\ \bar{x}_G &= (x_{G,1}, \dots, x_{G,N_G}), & \bar{x}_S &= (x_{S,1}, \dots, x_{S,N_S}), & \bar{x}_B &= (x_{B,1}, \dots, x_{B,N_B}), \\ \bar{\pi} &= (\pi_O, \bar{\pi}_C, \bar{\pi}_V, \bar{\pi}_M, \bar{\pi}_G, \bar{\pi}_S, \pi_B), & \bar{q} &= (q_O, \bar{q}_C, \bar{q}_V, \bar{q}_M, \bar{q}_G, \bar{q}_S, \bar{q}_B), \\ \bar{x} &= (x_O, \bar{x}_C, \bar{x}_V, \bar{x}_M, \bar{x}_G, \bar{x}_S, \bar{x}_B). \end{aligned}$$

Тоді обмеження (8) можна записати як

$$\bar{q} \bar{x}^T \leq Q_T, \quad (9)$$

де \bar{x}^T – транспонований до \bar{x} вектор. Обмеження (1) – (6) можна записати як

$$A \bar{x}^T \leq \bar{0}, \quad (10)$$

де A – деяка (розріджена) матриця, всі елементи кожного рядка якої дорівнюють 0, крім елемента, рівного 1, та елемента, рівного -1 . Отже, задачу максимізації функції (7) при обмеженнях (1) – (6), (8) можна переписати як задачу максимізації

$$\Pi = \bar{\pi} \bar{x}^T \quad (11)$$

за бінарним вектором \bar{x} при нерівностях (9), (10).

Тепер звернемо увагу на невизначеність і ризик. Якщо у постановці задачі (9) – (11) вектори $\bar{\pi}$, \bar{q} параметрів є детермінованими, то на практиці елементів цих векторів не є точно відомими: дифузії послуг і пакетів послуг у різних сегментах ринку не можна точно прогнозувати. Інші фактори невизначеності – відсутність зобов'язань продавців послуг щодо досягнення цілей попиту, непередбачена конкуренція, нові технології, обсяги використання часу на інтеграцію та підтримку суб'єктів (послуг, пакетів послуг, ISVs), ставки витрат на робочу силу (залежні від заміни працівників у випадку захворювань, від компенсацій на випадок захворювань, від коригувань заробітної плати) тощо. Наслідки цих невизначеностей полягають у тому, що наявного обсягу Q_T часу може виявитися недостатньо для створення пакета \bar{x} послуг, а значення Π цільової функції (11) може бути вищим або нижчим очікуваного, включаючи значення нижче рівня безбитковості чи деякого бажаного цільового рівня.

Тому для моделювання таких невизначеностей застосуємо імовірнісний підхід. Нехай ω – випадкова подія з множини Ω можливих майбутніх станів, яка стається з деякою ймовірністю α_ω . Тоді замість цільової функції (11) максимізується очікувана (expected) поточна вартість

$$E_\omega [\Pi_\omega] = E[\bar{\pi}_\omega] \bar{x}, \quad (12)$$

а замість обмеження (9) використовується

$$E_\omega [\bar{q}_\omega] \bar{x}^T \leq Q_T. \quad (13)$$

Нехай у стохастичній постановці задачі максимізації функції (12) за бінарним вектором \bar{x} при нерівностях (10), (13) особа, яка приймає рішення, є нейтральною до фінансового ризику, що впливає з функції (12), та ризику невиконання обмеження (13). Обмеження (13) виконується лише

в середньому, але може не виконуватися у деяких можливих майбутніх станах: невиконання цього обмеження не має додаткових наслідків – збільшення витрат внаслідок більших обсягів використання часу чи нездатності запропонувати послуги вчасно. Невизначеність часових ресурсів, необхідних для впровадження та пакетування послуг, може вести до затримування пропозицій послуг, перенесення доходів на пізніші періоди часу, збільшення витрат, недостатнього стимулювання учасників. Оскільки витрати, пов'язані з використанням ресурсів, є частиною $\bar{\pi}_\omega$, то додаткові витрати означають додаткові обсяги використання часу. Нехай витрати за одиницю часу є однаковими незалежно від виконання чи невиконання обмеження (13). Якщо ϕ – витрати (штраф) на одиницю невиконання обмеження (13), то замість поточної вартості (12) та обмеження (13) можна ввести критерій

$$E_\omega[\Pi_\omega] = E_\omega[\bar{\pi}_\omega] \bar{x} - E_\omega\left[\phi \max\{\bar{q}_\omega \bar{x}^T - Q_T; 0\}\right]. \quad (14)$$

Крім того, можна вводити параметричне обмеження на перевищення ресурсів (resources):

$$\max\{\bar{q}_\omega \bar{x}^T - Q_T; 0\} \leq R_T. \quad (15)$$

Щоб контролювати фінансові ризики через стохастичні вхідні параметри (попит, витрати, фактори витрат, штрафи), у фінансах застосовують дисперсію чи стандартне відхилення, вартість за ризику (value at risk, VaR), умовну вартість за ризику (conditional value at risk, CVaR) [19].

При виборі задовільної міри ризику слід брати до уваги, що міра ризику: має достатньо відображати сприйняття ризику користувачами, має підтримувати прийняття раціональних рішень, впливає на властивості моделі (лінійність, опуклість, гладкість), важливі для реалізації оптимізаційного ПЗ. Застосуємо дві альтернативні міри ризику – середнє негативне відхилення та CVaR [19, 20]. Середнє негативне відхилення є окремим випадком загальніших нижніх часткових мір ризику і використовується в оптимізації фінансового портфеля [15]. На відміну від дисперсії (standard deviation, SD), середнього абсолютного відхилення від сподіваного (mean absolute deviation, MAD), одностороннього негативного (напівнижнього) відхилення (negative absolute deviation, NAD), CVaR запобігає нераціональним рішенням, до яких може вести критерій мінімізації очікуваних витрат (expected costs, EC). Нехай суб'єкт 1 потрібен ХБ для використання інших суб'єктів. При цьому використання також суб'єкта 2 погіршує значення критерію EC, але поліпшує значення критеріїв SD, MAD, NAD та опуклої комбінації $(1-\lambda)EC + \lambda MAD$ з $\lambda \in (0,1)$. Тому ХБ є сенс використовувати суб'єкт 2. Реалізація оптимізаційного ПЗ для функцій MAD та CVaR може зводитися до лінійного програмування [15].

Для критерію (14) та нерівності (10) для бінарного вектора \bar{x} замість обмеження (15) можна ввести обмеження

$$E_\omega\left[\max\left\{Q_F - \bar{\pi}_\omega \bar{x} - \phi \max\{\bar{q}_\omega \bar{x}^T - Q_T; 0\}; 0\right\}\right] \leq R_F, \quad (16)$$

де Q_F – цільове значення поточної вартості, R_F – параметр, значення якого вибирає користувач. Функція (14) не є лінійною за \bar{x} через присутність оператора максимуму. Аналогічно ліва частина обмеження (16) не є лінійною за \bar{x} . Для вирішення цієї проблеми нелінійності припустимо, що випадкові параметри мають скінченний носій (finite support), визначений скінченною кількістю S сценаріїв (scenarios). Якщо кожний сценарій $s = 1, \dots, S$ має ймовірність α_s , то задачу максимізації критерію (14) при обмеженнях (10), (16) можна переписати як задачу максимізації [15]

$$E_s[\Pi_s] = \sum_{s=1}^S \alpha_s (\bar{\pi}_s \bar{x} - v_s \phi) \quad (17)$$

за бінарним вектором \vec{x} , невід'ємними векторами $\vec{v} = (v_1, \dots, v_S) \geq \vec{0}$, $\vec{w} = (w_1, \dots, w_S) \geq \vec{0}$ при обмеженнях (10),

$$\vec{q}_s \vec{x}^T - v_s \leq Q_T, \quad s = 1, \dots, S, \quad (18)$$

$$\vec{\pi}_s \vec{x} - v_s \phi + w_s \geq Q_F, \quad s = 1, \dots, S, \quad (19)$$

$$\sum_{s=1}^S \alpha_s w_s \leq R_F. \quad (20)$$

В нерівності (18) змінні v_s вимірюють будь-яке перевищення наявного ресурсу Q_T у сценарії s . В нерівності (19) змінні w_s вимірюють будь-яке негативне відхилення (зменшення) від цільового значення Q_F поточної вартості у сценарії s . Отже, задача (10), (17) – (20) моделювання негативного відхилення від цілі є задачею лінійної оптимізації пошуку бінарного вектора \vec{x} і невід'ємних векторів \vec{v} , \vec{w} . Така задача розв'язується за допомогою стандартного ПЗ для змішаного цілочисельного лінійного програмування. Обчислювальні зусилля залежатимуть від вимірності \vec{x} (числа суб'єктів, яких потрібно брати до уваги) та числа S сценаріїв [21].

Оскільки на практиці задавати значення параметра R_F може бути складно для користувача, особливо при змінах вхідних даних або кількості суб'єктів, то зручніше замість цільової функції (17) та обмеження (20) застосовувати опуклу комбінацію

$$(1 - \lambda) \sum_{s=1}^S \alpha_s (\vec{\pi}_s \vec{x} - v_s \phi) - \lambda \sum_{s=1}^S \alpha_s w_s, \quad (21)$$

де $\lambda \in (0, 1)$. При досить загальних припущеннях будь-який розв'язок задачі (10), (17) – (20) є також розв'язком задачі (10), (18), (19), (21) для деякого R_F [15]. Опуклу комбінацію (21) можна модифікувати з використанням CVaR:

$$(1 - \lambda) \sum_{s=1}^S \alpha_s (\vec{\pi}_s \vec{x} - v_s \phi) - \frac{\lambda}{\alpha_{VaR}} \sum_{s=1}^S \alpha_s w_s - \lambda V.$$

Висновки. Розуміння ролі провайдерів хмарних послуг у ланцюгу вартості, визначення ієрархії потрібних об'єктів доходів і витрат, розробка структури моделі, відображення відповідних фінансових даних вимагало первинних даних від спілкування як з керівництвом телекомунікаційних компаній (менеджерами і спеціалістами продуктів), так і з провайдерами хмарних послуг (бізнес-менеджерами, фінансовими керівниками, проектувальниками послуг). Модель брокера хмарних послуг вимагає вторинних даних, що містять технічні характеристики продукції, річні звіти, відкриті дані веб-сайтів учасників ланцюга вартості.

Список літератури

1. Горбачук В., Гавриленко С., Голоцуков Г., Дунаєвський М. Засади розвитку хмарних технологій. *Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання*. Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника, 2020. С. 82–83. <http://itcm.comp-sc.if.ua/2020/zbirnyk2020.pdf>
2. Горбачук В., Гавриленко С. Вплив ціноутворення хмарних сервісів на прибуток провайдера, споживчий надлишок і суспільний добробут. *Проблеми програмування*. 2020. № 2–3. С. 237–245. https://www.researchgate.net/publication/353326544_The_impact_of_cloud_services_pricing_on_provider_profit_consumer_surplus_and_social_welfare
3. Горбачук В., Гавриленко С., Дунаєвський М. До участі України в Європейській хмарі відкритої науки. *Global and Regional Problems of Informatization in Society and Nature Using*. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 2021. P. 169–171.

- https://www.researchgate.net/publication/352173161_To_participation_of_Ukraine_in_the_European_Open_Science_Cloud
4. Горбачук В., Гавриленко С., Голоцуков Г., Ніколенко Д. Економіка Internet-застосунків і цифрового контенту. *The role of technology in the socio-economic development of the post-quarantine world*. М. Gavron-Lapuszek, А. Karpenko (eds.) Katowice: Katowice School of Technology, 2020. P. 81–88.
https://www.researchgate.net/publication/345434136_Economics_of_internet_applications_and_digital_content
 5. Gorbachuk V., Dunaievskiy M., Syrku A. Epidemic effects in network industries. *International Conference on Software Engineering* (April 12–14, 2021, Kyiv). Kyiv: National Aviation University, 2021. P. 68–72.
https://www.researchgate.net/publication/353550873_Epidemic_effects_in_network_industries
 6. Горбачук В.М. Постіндустріальна організація державних замовлень у розвитку AUTODIN, ARPANET, PRNET, NSFNET та Інтернету. *Вісник Одеського національного університету. Економіка*. 2016. Т. 21, Вип. 8. С. 116–122. http://visnyk-onu.od.ua/journal/2016_21_8/24.pdf
 7. Клейнрок Л. Коммуникационные сети. М.: Наука, 1970. 256 с.
 8. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979. 432с.
 9. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. М.: Мир, 1979. 600 с.
 10. Nesse P.J., Svaet S., Strasunskas D., Gaivoronski A. A. Assessment and optimisation of business opportunities for telecom operators in the cloud value network. *Transactions of Emerging Telecommunications Technologies*. 2013. **24** (5). P. 503–516. <https://doi.org/10.1002/ett.2666>
 11. Gaivoronski A.A., Strasunskas D., Nesse P.J., Svaet S., Su X. Modeling and economic analysis of the cloud brokering platform under uncertainty: choosing a risk/profit trade-off. *Service Science*. 2013. **5** (2). P. 137–162.
<https://doi.org/10.1287/serv.2013.0047>
 12. Wang X., Wu S., Wang K., Di S., Jin H., Yang K., Ou S. Maximizing the profit of cloud broker with priority aware pricing. *2017 IEEE 23rd International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)* (December 15–17, 2017, Shenzhen). Shenzhen, China: IEEE, 2017. P. 511–518. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8368402>
 13. Becker D.M., Gaivoronski A.A., Nesse P.J. Optimization based profitability management tool for cloud broker. *Transactions in Emerging Telecommunications Technologies*. 2019. **30** (1). <https://doi.org/10.1002/ett.3527>
 14. Gaivoronski A.A., Lisser A., Lopez R., Xu H. Knapsack problem with probability constraints. *Journal of Global Optimization*. 2010. **49** (3). P. 397–413. <https://doi.org/10.1007/s10898-010-9566-0>
 15. Zenios S.A. Practical Financial Optimization. Decision Making for Financial Engineers. Cambridge, MA: Blackwell, 2008. 430 p.
<https://www.wiley.com/en-us/Practical+Financial+Optimization%3A+Decision+Making+for+Financial+Engineers-p-9781405132015>
 16. Gaivoronski A.A., Zoric J. Evaluation and design of business models for collaborative provision of advanced mobile data services: a portfolio theory approach. *Telecommunications Modeling, Policy, and Technology*. S. Raghavan, B. Golden, E. Wasil (eds.) New York, NY: Springer, 2008. P. 353–386.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-77780-1_17
 17. Лапті́н Ю.П., Бардадим Т.О., Лефтеров О.В. Оптимізаційні задачі управління процесами обробки документів. *Кибернетика та комп'ютерні технології*. 2020. № 3. С. 5–13. <https://doi.org/10.34229/2707-451X.20.3.1>
 18. Bardadym T., Gorbachuk V., Novoselova N., Osypenko S., Skobtsov V., Tom I. On biomedical computations in cluster and cloud environment. *Cybernetics and Computer Technologies*. 2021. N 2. P. 76–84.
<https://doi.org/10.34229/2707-451X.21.2.8>
 19. Rockafellar R.T., Uryasev S. Optimization of conditional value-at-risk. *Journal of Risk*. 2000. **2** (3). P. 21–41.
<https://www.risk.net/journal-risk/2161159/optimization-conditional-value-risk>
 20. Shang D., Kuzmenko V., Uryasev S. Cash flow matching with risks controlled by buffered probability of exceedance and conditional value-at-risk, *Annals of Operations Research*. 2018. 260. P. 501–514.
<https://doi.org/10.1007/s10479-016-2354-6>
 21. Gorbachuk V., Ermoliev Y., Zagorodniy A., Bogdanov V., Ermolieva T., Rovenskaya E., Komendantova N., Borodina O., Knopov P., Norikin V., Gaivoronski A. Iterative Stochastic Quasigradient procedures for robust estimation, machine learning and decision making problems. *31-st European Conference on Operational Research* (July 11–14, 2021, Athens, Greece). The Association of European Operational Research Societies, 2021. P. 184–185.
https://www.researchgate.net/publication/353317157_Iterative_Stochastic_Quasigradient_procedures_for_robust_estimation_machine_learning_and_decision_making_problems

Одержано 18.08.2021

Горбачук Василь Михайлович,

доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0001-5619-6979>
GorbachukVasyl@netscape.net

Дунаєвський Максим Сергійович,

аспірант
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

Сулейманов Сеїт-Бекір,

молодший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

Батіг Людмила Омелянівн,

аспірантка
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

Симонов Денис Ігорович,

аспірант
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ.

MSC 90C90, 90B18

Vasyl Gorbachuk^{*}, Maksym Dunaievskiy, Seit-Bekir Suleimanov, Lyudmyla Batih, Denys Symonov

Decision Making Models on the Market of Cloud Services

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv

^{}Correspondence: GorbachukVasyl@netscape.net*

Introduction. Optimization can be applied in developing profitability management tools for a cloud service broker working according to a certain business model. On behalf of the managing telecommunications holding company (telecommunications operator), this broker integrates, aggregates and configures software and data storage services of third-party Internet software vendors. Such a broker receives only fixed commissions from this company, based on the subscription fee, but does not pay royalties to an Internet software vendor and does not receive payments from the sale of service packages.

The purpose. The cloud broker faces the problem of limited human resources required to carry out the relevant legal, technical and economic activities. In addition, the broker faces the problem of uncertainty in sales, service prices, the share of resource use, or the risk of losing operational and financial goals.

Results. To run a broker's business efficiently, one needs to find services and their bundles that increase profitability and reduce financial risk by solving certain optimization problems. Information on such services is needed to support negotiations on fixed and variable commissions, as well as to prioritize services and their packages to be provided. Thus, for the cloud services broker, both profitability management tools and services portfolio development tools are useful. In general, a cloud service broker is an organization that negotiates the relationships between cloud service clients and Internet software vendors. Cloud broker can be created on the basis of different business models regarding the type of service (platform, infrastructure, software), type of clients (enterprise, household), functions performed (identity management, accounting, billing, location, etc.), the degree of rebranding, measures of aggregation of services and other criteria.

Conclusions. Different cloud brokers have different attitudes to choice of important solutions for their businesses. Solutions can relate to pricing, capacity planning and utilization in combination with service quality, security, scalability and other issues.

Keywords: optimization, portfolio, uncertainty, Boolean variables, revenue generation.