

**А.П. ПОЗІНСЬКИЙ**, молодший науковий співробітник,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
НАН та МОН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна,  
[loza@irtc.org.ua](mailto:loza@irtc.org.ua)

## СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПЛАТФОРМ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

*Розглянуто історію формування ідеї реалізації синтезу єдиного середовища хмарних обчислень з окремих напрямків інформаційних технологій. Запропоновано реструктурований варіант оригінальної моделі багаторівневої архітектури платформи хмарних обчислень. Представлено застосування моделі у формалізації процесу оптимізації структури перерозподілу ресурсів методом комбінаторної оптимізації. Розглянуто можливість залучення хмарних обчислень до організації наукової діяльності.*

**Ключові слова:** платформа хмарних обчислень, багаторівнева архітектура, комбінаторна оптимізація..

### Вступ

Формування ідеї та пошук рішень проблем реалізації широкодоступного середовища, що забезпечує доступність і зручність використання інформаційних технологій (ІТ), досягли рівня промислової реалізації. Те, що відбувається в галузі ІТ, схоже на масовий перехід минулого сторіччя від експлуатації власних джерел механічної енергії до споживання послуг промислової електромережі, що кардинально змінило промисловість та життєвий уклад суспільства. Внаслідок цих змін сьогоденний життєвий уклад неможливо уявити без стандартної електричної розетки. Подібні процеси відбуваються останнім десятиліттям — ІТ стають наступним видом систем масового обслуговування, подібно до звичних у сучасному суспільстві: водопостачання, електропостачання, телефонії, житла [1].

Кардинальних змін зазнає насамперед спосіб поширення програмного забезпечення. «На просторому й багатому підґрунті Інтернету

виникає безліч миттєво доступних застосунків, — пише Біл Гейтс до топ-менеджерів та інженерів з Майкрософт у позачерговому меморандумі від 30 жовтня 2005 р. — Послуги, доступні десяткам або сотням мільйонів (користувачів), кардинально змінять характер і вартість рішень, що постачаються великим підприємствам та представникам малого бізнесу». Справді, протягом останнього десятиліття спостерігається стала тенденція відмови підприємств від розгортання власних систем ІТ та перехід на споживання доступних у мережі Інтернет аналогічних послуг: електронна пошта, відеотелефонія, зберігання та обмін файлами, керування взаємодією з клієнтами (CRM), планування ресурсів підприємства (ERP) і т.п. Крім того, дослідження [2] вказує на сталий розвиток тенденції формування глобального розподіленого середовища обслуговування попиту популярних інформаційних технологій у формі послуг доступних через Інтернет. Зокрема вказується, що розробники, які не реалізують доступу до свого програмного

забезпечення у формі послуг, витіснятимуться іншими підприємствами, які займуть гідне місце у формуванні нового ринку постачання послуг.

Спектр доступних в Інтернеті послуг значно розширюється завдяки розвитку сфери хмарних обчислень, що надають споживачам середовище розробки та розгортання від інфраструктурних рішень до закінчених розподілених програмних середовищ. Наявність у хмарних обчисленнях механізму багаторівневого абстрагування та різних сценаріїв розгортання ускладнює розуміння, а популяризація хмарних послуг іноді породжує оманливі твердження.

Проте хмарні обчислення впевнено входять у традиційні сфери діяльності як розподілене середовище реалізації систем масового обслуговування. Перелік застосування хмарних послуг постійно зростає від послуг електронної пошти та надання простору під зберігання даних до розподілених торгових платформ із впровадженням технологій машинного навчання та штучного інтелекту, систем аналітичної обробки великих даних у реальному та псевдо-реальному часі [3–5].

Мета дослідження — розробка деталізованої багаторівневої архітектури *платформ хмарних обчислень* (ПХО).

## Постановка задачі

Для досягнення мети необхідно:

- представити процес синтезу технологій у рамках ідеї хмарних обчислень;
- розглянути багаторівневий механізм абстрагування в реалізації ключових властивостей хмарних обчислень на підставі понять «послуга» та «сервіс-орієнтована архітектура»;
- представити розроблену автором модель багаторівневої архітектури ПХО з описом взаємодії між рівнями;
- розглянути застосування комбінаторної оптимізації до процесу перерозподілу ресурсів ПХО між робочими навантаженнями;
- визначити перспективи застосування локальної ПХО в організації наукової діяльності.

## Синтез технологій

Парадигма хмарних обчислень ґрунтується на ідеях низки авторитетних діячів наукової та промислової сфер діяльності на початку 90-х років минулого століття. Загальну ідею хмарних обчислень коротко висловлює девіз компанії *Sun Microsystems* «Мережа — це комп'ютер», що з'явився, коли посаду директора з технологій обіймав Е. Шмідт. Це — лаконічна форма думки, висловленої Е. Шмідтом, про спорідненість мережі та комп'ютера ще у 1993 р. Йому також належить перше застосування в цьому контексті терміна «хмарні обчислення» (*Cloud Computing*) у 2007 р. [6]. Ідея отримала підтримку в науковому середовищі й розгорталася від перших дистанційних запусків робочих навантажень до технологій кластерних та розподілених обчислень у рамках мережі *GRID*, що об'єднала суперкомп'ютери науково-дослідницьких лабораторій [7].

Впровадити ідею хмарних обчислень на практиці уможливив розвиток і синтез чотирьох технологічних напрямів (рис. 1): апаратне забезпечення (багатоядерні процесори та віртуалізація), технології Інтернет (*web-сервіси*, *web 2.0*, сервіс-орієнтована архітектура), розподілені обчислення (кластери та технології *GRID*), методи керування системами (автономні обчислення, автоматизація центрів обробки даних) [8]. Попри те, що на ранніх етапах розробки низка технологій вважалася хибними напрямками, пізніше вони отримали визнання в академічних колах й отримали підтримку ключових гравців індустрії. Історія протиставлення думок стосовно цього синтезу технологій красномовно підтверджує, що функціональність хмарних обчислень безпосередньо пов'язана з рівнем розвитку задіяних складових технологій.

Загальне уявлення організації хмарних обчислень формувалося на представленні взаємодії двох груп суб'єктів — постачальників і споживачів послуг (рис. 2).

Реалізація широкодоступного масового обслуговування передбачає високий рівень доступності та гнучкості обслуговування запитів споживачів. Призначення хмарних обчислень — розширити

можливості розподілених обчислень *GRID* до високонадійного та гнучкого середовища масового обслуговування, що реалізує низку ключових властивостей, необхідних для масової взаємодії широкого спектру постачальників та споживачів послуг. А саме — обслуговування динаміки змін кількості споживачів послуг у часі, піків і спадів кількості запитів на обслуговування. Крім того, видалення несправного та встановлення нового обладнання має виконуватися прозоро для споживачів, не припиняючи обслуговування й не впливаючи на якість постачання послуг. Постачальник повинен мати можливість підтримки оптимального рівня обслуговування у співвідношенні якості та вартості. Спроби деталізувати ключові принципи реалізації хмарних обчислень можна побачити в публікаціях низки науковців та дослідницьких організацій [9–13].

## Визначення та ключові властивості хмарних обчислень

Результатом інтелектуального пошуку подолання згаданих проблем стало такне визначення хмарних обчислень [14]: «Такий метод реалізації легкого та надійного мережевого доступу за вимогою до масиву обчислювальних ресурсів (мереж, серверів, простору зберігання даних, застосунків та послуг), коли швидко отримати або відмовитися від послуг можна з мінімальним зусиллям на керування або взаємодію з персоналом постачальника, а оплата відповідає обсягу споживання».

Створення поданого на рис. 2 гнучкого та широкодоступного середовища вимагає реалізації таких найважливіших властивостей хмарних обчислень згідно зі стандартом [15]:

- *Самообслуговування за потребою.* Споживач самостійно забезпечує себе такими ресурсами, як обчислювальні потужності та простір зберігання даних, через запит до постачальника в односторонньому автоматичному режимі, що не вимагає взаємодії з персоналом постачальника послуг.



Рис. 1. Синтез технологій у рамках ідеї хмарних обчислень

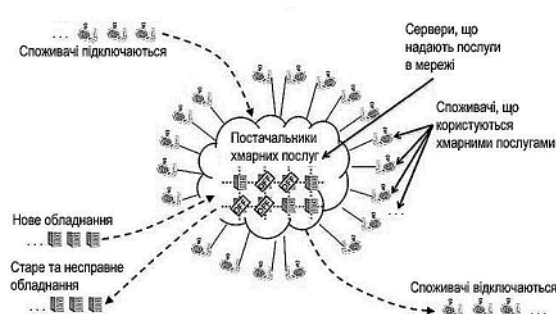


Рис. 2. Загальне уявлення організації хмарних обчислень

- *Мережева доступність.* Послуги мають бути доступні в мережі крізь стандартні механізми, що підтримуються товстими та тонкими клієнтами на базі різнорідних апаратних платформ (тобто, мобільних телефонів, планшетів, ноутбуків, робочих станцій).

- *Масив ресурсів.* Обчислювальні ресурси постачальника представлено у вигляді масиву, задіяного завдяки динамічному виокремленню та перерозподілу різних фізичних і віртуальних ресурсів відповідно до обслуговування потреб

різних споживачів. Прозорість механізму перерозподілу ресурсів передбачає відсутність контролю перебування задіяних споживачем ресурсів на рівні окремих апаратних вузлів, проте він може визначати розташування на вищому рівні абстрагування (країна, регіон, центр обробки даних). Приклад ресурсів — потужність обчислювальних вузлів, пропускна здатність мережевих каналів, простір зберігання даних.

▪ *Оперативна еластичність.* Можливість змінювати обсяг задіяних обчислювальних ресурсів у бік збільшення або зменшення відповідно до поточних потреб споживання послуги. З погляду споживача масив ресурсів є теоретично необмеженим, а ресурси можна замовляти та вивільняти мірою необхідності.

▪ *Облік споживання.* Реалізація автоматичного контролю та оптимізації споживання ресурсів, що вимірюється на певному рівні абстрагування відповідно до типу обслуговування кінцевого споживача (наприклад, обсяг зберігання даних, обчислювальна потужність, мережеве навантаження, кількість активних облікових записів користувачів). Постачальник послуг може прозоро контролювати, керувати та обліковувати споживання ресурсів.

Наявність механізму багаторівневого абстрагування створює у сприйнятті споживача хмарних обчислень ілюзію відсутності питання забезпечення ресурсів і дає можливість зосередити увагу на прикладній задачі. Образно кажучи — користувач бачить лише «надводну частину айсберга». Споживач вважає, що хмара — це хмарна послуга, з якою він безпосередньо взаємодіє. Можна спостерігати на прикладі споживання послуг комерційних ПХО — турбота споживача щодо наявності ресурсів зводиться до своєчасного поповнення фінансового балансу. У цьому сенсі термін «хмара» справді відповідає сприйняттю — хмарна послуга наче «зависає у повітрі», функціонує у необмеженому в ресурсах середовищі, ресурси з'являються наче нізвідки. Проте, задіяні ресурси насправді належать реальним серверам і системам зберігання даних (процесорні

ядра, оперативна пам'ять, дисковий простір), а властивості хмарних обчислень забезпечує *хмарна операційна система (ХОС)*, з якою споживач безпосередньо не взаємодіє.

## **Ключові поняття «послуга» та «сервіс-орієнтована архітектура»**

За визначенням стандарту [16], послуга (*service*) — це окреме або таке, що складається з інших послуг, логічне представлення послідовності дій, яке забезпечує задані результати. Послуга — це головний елемент побудови еталонної моделі сервіс-орієнтованої архітектури (*Service Oriented Architecture, SOA*). Поняття «послуга» в *SOA* — це універсальний інструмент абстрагування процесів взаємодії різних сфер фінансово-господарчої діяльності від методів їх реалізації.

*SOA* — це стиль архітектури, в якому фінансово-господарчу діяльність та системи ІТ проєктують з погляду послуг, доступних через певний інтерфейс, і результатів їхньої роботи. За визначенням *SOA*, споживачам непотрібно знати внутрішню будову послуги. Суть *SOA* полягає в організації циклічного процесу вдосконалення взаємодії трьох аспектів фінансово-господарської діяльності: люди, технології та процеси. Цикл реалізується через застосування низки принципів *SOA* [16]: *синтаксична та семантична сумісність, охарактеризованість, багаторазовість, придатність до композиції, самодостатність, можливість пізнього зв'язування, легкість сполучення, керованість.* Хмарні обчислення забезпечують технологічний аспект реалізації принципів *SOA*. Зокрема, принцип *легкості сполучення SOA* реалізується принципом *самообслуговування* в ПХО.

## **Сценарії розгортання платформ хмарних обчислень**

Важливе значення в ефективності застосування хмарних обчислень відіграє фізичне розташування та форма власності ПХО. Відповідно до їхньої комбінації, стандарт [17]

класифікує чотири сценарії розгортання ПХО (див. таблицю 1).

**Таблиця 1.** Сценарії розгортання ПХО

Сценарій	Визначення
Приватний (private)	ПХО обслуговує лише одну окрему організацію у складі різних споживачів (окремих підрозділів). Інфраструктура розташовується на власній території або орендованій площі. Інфраструктурою може володіти та керувати сама організація, третя сторона або комбінація того й того.
Спільний (community)	ПХО обслуговує окрему спільноту споживачів у складі організацій, що мають спільні інтереси (наприклад, напрям діяльності, єдині вимоги до політики безпеки, відповідність нормативним документам тощо). Інфраструктура розташовується на територіях організацій спільноти або орендованих площах. Інфраструктурою керує та володіє одна або декілька організацій спільноти, третя сторона або комбінація того й того.
Публічний (public)	Передбачає відкритий публічний доступ до хмарних послуг. ПХО може володіти, контролювати та керувати комерційна, наукова, урядова організація, або комбінація того й того.
Гібридний (hybrid)	Утворюється композицією кількох ПХО з різними сценаріями розгортання (власними, спільнотними, публічними), що залишаються унікальними щодо змісту, але об'єднуються між собою стандартними або пропрієтарними технологіями, що забезпечують сумісність обміну даних і застосунків (наприклад, сумісність таких технологій, як передача даних для балансування робочих навантажень між ПХО).

Кожен сценарій орієнтується на реалізацію оптимального обслуговування згідно з поставленим завданням. Низка рекомендацій стандарту [17] щодо вибору сценарію розгортання вказує на необхідність врахування незалежних від сценарію загальних факторів:

- **Надійність мережі.** Споживач залежить від рівня працездатності та безпеки мережевого доступу до хмарних послуг. Якщо мережевий доступ не є надійним, то хмарна послуга теж сприйматиметься споживачем як ненадійна.

- **Необхідність навичок ІТ.** Постачальник зменшує потреби споживача у власному ІТ-персоналі, обслуговуючи інфраструктуру та

програмне забезпечення послуги. Проте власна інформаційна система споживача вимагає керування, обслуговування, безпеки тощо.

- **Приховане розташування робочих навантажень.** Для ефективного керування ресурсами ПХО постачальник повинен мати можливість переміщати (мігрувати) робочі навантаження між апаратними вузлами. Переміщення відбувається прозоро, без участі споживача, тому відпадає необхідність сповіщати споживача про зміни.

- **Ризики спільного використання.** Робочі навантаження декількох споживачів, що розміщені в одному фізичному вузлі або локальній мережі, можуть конкурувати між собою, обмежуючись лише політиками доступу, реалізованими програмним забезпеченням постачальника. Дефекти реалізації, керування та функціонування політик можуть компрометувати безпеку даних і процесів споживачів.

- **Обмежені потужність і пропускна здатність.** Оскільки взаємодія споживачів із хмарою відбувається крізь мережу, сплески обсягів передачі даних можуть періодично призводити до перенавантаження мережевих каналів. Крім того, обмежена пропускна здатність і мережева затримка ускладнюють можливість обробки даних у реальному часі.

Оскільки найбільший рівень надійності та контролю забезпечує власна інфраструктура та персонал, то найбільший рівень надійності забезпечує власна ПХО, розташована на власній території. Однак цей сценарій розгортання є найдорожчим з огляду на вартість обладнання та розгортання інфраструктури. Натомість зменшення фінансових витрат можна досягти завдяки оренді площ та обладнання інфраструктури третіх сторін (центри обробки даних). Сценарій розгортання власної ПХО можливий на базі спеціалізованих апаратних платформ для хмарних обчислень низки виробників [18–22]. Факт створення всесвітньо відомими компаніями масштабних рішень для розгортання власних ПХО слугує вагомим підтвердженням того, що керівники підприємств та ІТ-підрозділів остерігатимуться передавати свої дані в публічні ПХО.

## Модель багаторівневої архітектури платформ хмарних обчислень

З погляду споживачів є три моделі обслуговування (види хмарних послуг): інфраструктура *IaaS*, платформа *PaaS*, застосунок *SaaS*. Як правило, ПХО реалізуються в рамках інфраструктури центрів обробки даних (ЦОД). На сьогоднішній день найвідомішими є публічні ПХО: *AWS Amazon* [23], *Microsoft Azure* [24], *Google Cloud* [25]. Реалізація власної ПХО вимагає деталізованішої моделі, що відображає внутрішній устрій і взаємодію складових компонентів.

У рамках розвитку ідеї розробки багатопільового комплексу обробки наукових даних і досліджень [26] автором створено діючу модель власної ПХО (Модель) [27, 28], де в якості ХОС застосовано програмний продукт з відкритим програмним кодом *OpenStack* [29]. У цій статті представлено результат подальшого дослідження Моделі — модель багаторівневої архітектури ПХО у складі семи рівнів (рис. 3). Реструктуризація рівнів раніше відомої моделі [28] забезпечує формалізацію представлення формування структури рівня *PaaS*, розкриває розподілену природу стосовно компонентів нижче розташованих рівнів, забезпечує можливість подальшої формалізації внутрішніх процесів ПХО із застосуванням математичних методів.

Застосування методу розбиття на рівні забезпечує спрощення розуміння внутрішньої будови ПХО, представляючи її архітектуру у вигляді семи логічних рівнів архітектури (рівнів). Нумерація починається з нижнього рівня. Логічний принцип розбиття — рівень складають схожі за функціональним призначенням об'єкти. Кожен рівень виступає постачальником послуг стосовно рівня, розташованого вище. Відповідно, вищі рівні розглядаються як споживачі послуг рівнів, розташованих нижче.

Перший рівень складається із сукупності вузлів фізичного обладнання (серверні вузли та мережеве обладнання, системи зберігання даних). Загальний обсяг ресурсів обладнання (оперативна пам'ять, процесорні ядра, дисковий простір та пропускна здатність каналів) визначає ресурсоемність окремої ПХО.

Ми припускаємо, що нарощення кількості фізичних вузлів у складі ПХО не обмежена. Кожен апаратний вузол надає обчислювальні ресурси операційній системі, що функціонує в ньому.

Другий рівень представлено операційними системами фізичних вузлів. Другий рівень може бути гібридним, складатися з різних операційних систем. До складу об'єктів другого рівня належать також системи мережевої взаємодії, віртуалізації, керування базами даних, синхронізації процесів кластеризації та часу, узгодження та підтримки функціонування операційних систем другого рівня. Операційні системи та системи другого рівня виступають постачальником послуг для об'єктів третього рівня.

Третій рівень — хмарна операційна система (ХОС). Застосування ХОС — ключовий момент реалізації властивостей хмарних обчислень, що об'єднує вузли апаратної інфраструктури ЦОД на логічному рівні в єдину платформу. ХОС реалізує гнучку сервіс-орієнтовану архітектуру послуг на базі сервісів операційних систем другого рівня, що формують четвертий рівень послуг *IaaS*.

Четвертий рівень представлено послугами рівня *IaaS*, що реалізують перший рівень абстрагування споживача від реалізації послуги (апаратної платформи, операційних систем вузлів та ХОС). Споживач послуг *IaaS* створює та керує віртуальною інфраструктурою, використовуючи вже абстрагований масив ресурсів (обчислювальні ядра, розділи зберігання даних, обсяг оперативної пам'яті, мережеві пристрої та з'єднання). Рівень *IaaS* реалізує функціональну можливість динамічного масштабування ресурсоемності та, відповідно, потужності інфраструктури споживача послуг *IaaS*. Склад інфраструктур рівня *IaaS* може нарощуватися додаванням віртуальних й апаратних вузлів (еластичне горизонтальне масштабування), ресурсоемність віртуальних вузлів може змінюватися (еластичне вертикальне масштабування). Об'єкти *IaaS* — споживачі послуг третього рівня.

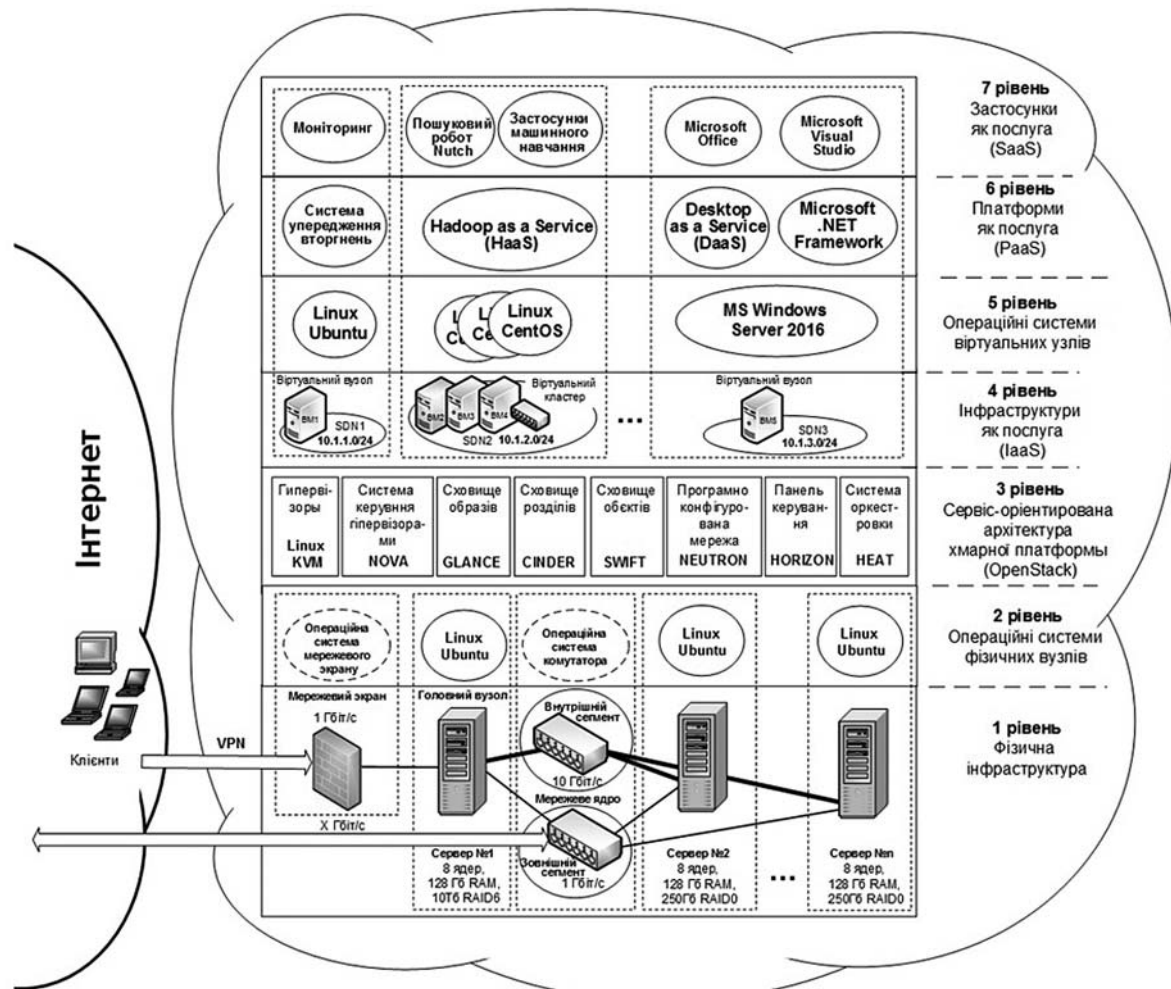


Рис.3. Модель багаторівневої архітектури ПХО

П'ятий рівень представлений операційними системами та сервісами, подібно до другого рівня, що функціонують у вузлах четвертого рівня. Операційні системи та сервіси п'ятого рівня розглядаються як споживачі послуг рівня *IaaS*.

Шостий рівень формують послуги *PaaS*. Рівень розгортається та функціонує на основі сукупності послуг (операційних систем) п'ятого рівня. Приклад такої платформи *Apache Hadoop* — стандарт де-факто для обробки великих даних, платформа *Microsoft*

*Remote Desktop Service* — популярна платформа організації дистанційних робочих місць. На цьому рівні мають реалізуватися протоколи взаємодії з послугами *IaaS* щодо автоматичного підключення та вивільнення ресурсів ПХО (зміни кількості вузлів у складі платформи *PaaS*). Середовища розробки програмного забезпечення [30, 31] розгортаються безпосередньо у складі платформ *PaaS*.

Сьомий рівень — послуги рівня *SaaS*. Прикладна задача рівня *SaaS* є найвищим рівнем архітектури. Рівні, розташовані нижче,

забезпечують рівню *SaaS* усі властивості хмарних обчислень. Таким чином, прикладні послуги рівня *SaaS* розробляються та функціонують у середовищі *PaaS* рівня ПХО. Ключові властивості динамічного перерозподілу ресурсів рівня *SaaS* забезпечує робоче середовище розподілених обчислень рівня *PaaS*, а рівень *IaaS* забезпечує масштабування потужності та кількості вузлів інфраструктури.

### Моделювання процесу перерозподілу ресурсів платформ хмарних обчислень

Задача моделювання полягає в тому, щоб визначити наявність достатнього обсягу ресурсів для обробки чергового запиту на обслуговування зовнішнього споживача ПХО. Обсяг задіяних обчислювальних ресурсів змінюється протягом окремих сеансів (частково зростає, зменшується, вивільняється), відповідно до поточних індивідуальних потреб окремих споживачів. Обробка окремого запиту послуги призводить до низхідної послідовності запитів між рівнями, спричиняючи витрату обчислювальних ресурсів на реалізацію задіяних послуг.

Оскільки обсяг ресурсів кожного рівня представлено не окремим об'єктом, а сумою складових об'єктів, необхідно розв'язати задачу оптимального розподілу послуг між складовими об'єктами. Аналогічну задачу описано у [32]. Необхідний для окремої послуги обсяг ресурсів обумовлюється в *SLA*. Архітектуру ПХО розбито на рівні  $h \in \{1, \dots, l\}$ , де кількість рівнів  $l = 7$ . Загальний обсяг ресурсів ПХО дорівнює обсягу першого рівня. Позначимо послуги, як  $s = (1, \dots, n)$ , де  $n$  — кількість послуг на окремому рівні архітектури. Максимально доступний обсяг ресурсів ПХО:  $O_{\max}$  — обсяг оперативної пам'яті,  $D_{\max}$  — обсяг дискової пам'яті,  $N_{\max}$  — швидкість мережевої взаємодії з ПХО,  $K_{\max} = (K_1, \dots, K_l)$  — процесорні ядра,  $i$  — кількість процесорних ядер.  $T_{\max}$  — швидкодія, що залежить від кількості процесорних ядер  $T(K_i)$ ,  $i \in \{1, \dots, m\}$ . Позначмо обсяг споживання ресурсів окремої послуги:

$$w_{hs} = \langle \tilde{O}_{hs}, \tilde{D}_{hs}, \tilde{K}_{hs}, \tilde{N}_{hs} \rangle,$$

де  $h$  — номер рівня,  $s$  — номер послуги на рівні. Реалізація окремої послуги вимагає ресурси  $\tilde{O}_{hs}, \tilde{D}_{hs}, \tilde{K}_{hs}, \tilde{N}_{hs}$ , так щоб  $\tilde{T}$  задовольняла споживача:  $\tilde{T}(K_i) \leq T(K_i)$ , де  $i \in \{1, \dots, m\}$ . Тоді сумарний обсяг ресурсів, задіяних послугами на всіх рівнях архітектури, буде:  $\tilde{O} = \sum_{h=2}^l \sum_{s=1}^n \tilde{O}_{hs}$ ,

$$\tilde{D} = \sum_{h=2}^l \sum_{s=1}^n \tilde{D}_{hs}, \tilde{K} = \sum_{h=2}^l \sum_{s=1}^n \tilde{K}_{hs}, \tilde{N} = \sum_{h=2}^l \sum_{s=1}^n \tilde{N}_{hs}.$$

Кожна окрема конфігурація є частковим випадком, що змінюється з плином часу. Аргументом цільової функції в цій задачі комбінаторної оптимізації є сполучення без повторень. Перевірка наявності ресурсів має виконуватися послідовно для кожного запиту від споживачів. Прийнятним вважається такий запит, коли необхідний сумарний обсяг споживання ресурсів, уже замовленими послугами та новою послугою, не перевищує обсяг ресурсів ПХО:  $\tilde{O} \leq O_{\max}$ ,  $\tilde{D} \leq D_{\max}$ ,  $\tilde{K} \leq K_{\max}$ ,  $\tilde{N} \leq N_{\max}$ . Інакше забезпечення *SLA* стає неможливим, відповідь на запит — відмова замовлення послуги.

### Застосування моделі платформ хмарних обчислень у наукових дослідженнях

Під кутом зору ідеї застосування можливостей ПХО варто звернути увагу на реалізацію зв'язку освітньої діяльності та наукових досліджень. Є окремі способи організації освітньої діяльності [33, 34], орієнтовані на дистанційне навчання. Є окремі способи організації наукової діяльності: наукові соціальні мережі, портали перегляду доповідей наукових конференцій, засоби обробки та систематизації джерел, записів і нотаток у процесі підготовки наукових статей [35–39]. На жаль, способів об'єднання перелічених засобів у єдине інформаційне середовище досі немає. Кожен науковець створює власне інформаційне середовище відповідно до доступних ресурсів, кваліфікації та наукових інтересів. На думку автора, створення в рамках наукової організації платформи, що об'єднує перелічені можли-



вості в єдине робоче середовище, дає змогу покращити ефективність і якість наукової роботи.

## Висновки

У статті представлено вдосконалений варіант авторської моделі багаторівневої архітектури ПХО. Модель деталізує внутрішню будову ПХО, пов'язуючи в єдине ціле компоненти «вузол», «мережеве з'єднання», «операційна система», «платформа», «розподілені обчислення», «послуга», що уможливорює формалізацію опису внутрішніх процесів завдяки застосуванню математичних методів. Для забезпечення оптимальних структур перерозподілу ресурсів пропонується застосувати методи комбінаторної оптимізації.

Реалізація принципів *SOA* на основі власної ПХО дає підприємству змогу створити власні послуги у царині наукової діяльності. Застосування гібридного або суспільного сценарію є можливим у тимчасовому плановому залученні додаткових обчислювальних потужностей для наукових розрахунків. Цикл вдосконалення моделі *SOA* на базі хмарних послуг сприяє підвищенню ефективності підтримки задач наукової діяльності.

Сучасний рівень розвитку хмарних обчислень дає змогу реалізувати широкодоступні інформаційні системи масового обслуговування.

Створені в робочому середовищі ПХО моделі легко масштабувати в перспективі масового обслуговування споживачів на базі ресурсів власної або публічної ПХО.

## REFERENCES

1. Carr, N., 2014. Velikiy perekhod: chto gotovit revolyutsiya oblachnykh tekhnologiy. M. : Mann, Ivanov i Ferber, 272 p. [Карр Н. Великий переход: что готовит революция облачных технологий. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. 272 с.] (In Russian).
2. Gens F. The 3rd Platform: Enabling Digital Transformation. Nov. 2013, 13 p. URL: [http://www.achievabledigitaltransformation.com/tcs-white-paper\\_244515.pdf](http://www.achievabledigitaltransformation.com/tcs-white-paper_244515.pdf)
3. Google Drive. URL: <https://drive.google.com/>
4. CRM Salesforce. URL: <http://www.salesforce.com/>
5. Cindi Howson, Rita L. Sallam, James Laurence Richardson et al. Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms, 26 Feb. 2018, Gartner. URL: <https://www.gartner.com/en/documents/3861464/>
6. Griitsenko, V.I., Oursatyev, A.A., 2013. "Cloud Computing and the Cloud IT Service Model". Kibernetika i vytsislitelna tehnika. Вып. 171, pp. 5-19. [Приценко В.И., Урсатьев А.А. Cloud Computing и облачная модель предоставления ИТ-услуг. Кибнетика и вычислительная техника. 2013. Вып. 171. С. 5–19.] (In Russian).
7. Foster I. The grid: Computing without bounds, Scientific American. Vol. 288. N 4, (April 2003). P. 78–85.
8. Voorsluys W., Broberg J., Buyya R. Introduction to Cloud Computing. In: R. Buyya, J. Broberg and A. Goscinski, Eds., Cloud Computing: Principles and Paradigms, Wiley Press, New York, 2011. P. 3–41.
9. Buyya R., Yeo C.S., Venugopal S. et al. Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility, Future Generation Computer Systems, 2009. 25. P. 599–616.
10. Vaquero L.M., Rodero-Merino L., Caceres J. et al. A break in the clouds: Towards a cloud definition, SIGCOMM Computer Communications Review. 2009. 39. P. 50–55.
11. Sotomayor B., Montero R.S., I. Llorente I.M. et al. Virtual infrastructure management in private and hybrid clouds, IEEE Internet Computing. Sept./Oct. 2009. 13(5). P. 1422.
12. McKinsey & Co. Clearing the Air on Cloud Computing. Technical Report. 2009.
13. Armbrust M., Fox A., Griffith R. et al. Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing. UC Berkeley Reliable Adaptive Distributed Systems Laboratory White Paper. 2009.
14. Mell P., Grance T. The NIST Definition of Cloud Computing. National Institute of Standards and Technology. NIST Special Publication. P. 800–145. URL: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>.
15. Chong F., Carraro G. Microsoft Corporation. Architecture Strategies for Catching the Long Tail. URL: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa479069.aspx>
16. ISO/IEC 18384-1:2016. Information technology — Reference Architecture for Service Oriented Architecture (SOA RA). Part 1: Terminology and concepts for SOA. Geneva, Switzerland, 2016.

17. Badger L., Grance T., Patt-Corner R. et al. Cloud Computing Synopsis and Recommendations. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. NIST Special Publication. SP 800–146. URL: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-146/final>
18. Chernyak, L. Platforma dlya oblakov. Otkrytyye sistemy: SUBD N8. [online] Available at:<<http://www.osp.ru/os/2014/08/13043482/>> Accessed [17 Aug. 2014]. [Черняк Л. Платформа для облаков. Открытые системы: СУБД. № 8. 2014. URL: <http://www.osp.ru/os/2014/08/13043482/>]. (In Russian).
19. OpenStack Solutions at Cisco. URL: <http://cisco.com/go/openstack>.
20. Intel® Cloud Builders. URL: <https://cloudbuilders.intel.com/>
21. What is Azure Stack. [Что такое Azure Stack]. URL: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/overview/azure-stack/>. (In Russian).
22. Cisco Integrated System for Microsoft Azure Stack. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/data-center/integrated-system-microsoft-azure-stack/index.html>
23. AWS Amazon. URL: <https://aws.amazon.com/ru/>
24. Microsoft Azure. URL: <https://azure.microsoft.com/ru-ru/>
25. Google Cloud Platform. URL: <http://cloud.google.com/?hl=ru>
26. Gritsenko, V.I., Oursatyev, A.A., Lozinskyi, A.P., 2015. "Cloud Technologies of the Multipurpose Complexes in Geo-Distributed Systems". *Upravluusie sistemy i masiny*, 2, pp. 4-17. [Гриценко В.И., А.А. Урсатьев А.А., Лозинский А.П. Облачные технологии Многоцелевых комплексов геораспределенных систем. УСиМ. 2015. № 2. С. 4–17.] (In Russian).
27. Lozinskyi, A.P. Khmarna platforma pidpryyemstva dlya intelektualnoyi obrobky velykykh danykh. [online] Available at:<<http://www.nas.gov.ua/RDOutput/UA/book2017/Pages/sd.aspx?SRDID=04/>>. [Лозинський А.П. Хмарна платформа підприємства для інтелектуальної обробки великих даних. URL: <http://www.nas.gov.ua/RDOutput/UA/book2017/Pages/sd.aspx?SRDID=04/>]. (In Russian).
28. Lozinskyi, A.P., Simakhin, V.M., Oursatev, A.A., 2017. "Technologies Modeling for Processing Large Data on the Local Cloud Platform". *Upravluusie sistemy i masiny*, 3, pp. 6-19. [Лозинский А.П., Симахин В.М., Урсатьев А.А. Моделирование технологий обработки больших данных на локальной облачной платформе. УСиМ. 2017. № 3. С. 6–19] (In Russian).
29. Cloud operating system Open Stack. [online] Available at:<<http://openstack.org/>>. URL: <http://openstack.org/>.
30. Cloud Development and Testing Environments. [online] Available at:<<https://www.microsoft.com/ru-ru/cloud-platform/cloud-development-test-environments/>>. [Среды разработки и тестирования облачных решений. URL: <https://www.microsoft.com/ru-ru/cloud-platform/cloud-development-test-environments/>] (In Russian).
31. What is DevOps?. URL: <https://aws.amazon.com/devops/what-is-devops/>
32. Timofejeva N.K., Gritsenko V.I., 2014. " Modeling and Solving an Application Problems of Combinatorial Optimization Arised in Intelligent Geodistribution Dynamical Systems". *Upravluusie sistemy i masiny*, 1, pp. 4-18. [Тимофієва Н.К., Гриценко В.І. Моделювання та розв'язання прикладних задач комбінаторної оптимізації, які виникають в інтелектуальних георозподілених системах. УСиМ. 2014. № 1. С. 4–18] (In Ukrainian).
33. The open platform for e-learning "Universarium". [Открытая платформа электронного образования «Универсарий»]. URL: <http://universarium.org/> (In Russian).
34. Scientific Reports Platform "TED". URL: <https://www.ted.com/>.
35. Application of the organization of scientific work Citavi. URL: <https://habrahabr.ru/post/172195/>.
36. Academic social network Research Gate. URL: <https://www.researchgate.net/>.
37. Free universal bibliographic manager and academic social network "Mendeley". URL: <https://www.mendeley.com/>.
38. Bibliographic information management system "Endnote".
39. Bibliographic manager "Zotero". URL: <https://www.zotero.org/>.

Received 12.09.2019

*A.P. Lozinskyi*, Junior Research Associate, International Research and Training Centre of Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Acad. Glushkov ave., 40, Kiev, 03187, Ukraine, [loza@irtc.org.ua](mailto:loza@irtc.org.ua)

CLOUD COMPUTING PLATFORM TECHNOLOGIES SYNTHESIS

**Introduction.** The formation of the idea and the implementation of the synthesis of a single working environment of cloud computing from separate fields of information technology are considered. A multilevel mechanism for abstracting cloud services is described to achieve the basic principles for implementing a service-oriented architecture. The application of the local cloud computing platform in the organization of scientific activity is considered.

**Purpose.** The purpose of this article is: 1) to present the process of synthesis of technologies in the framework of the idea of cloud computing; 2) consider a multi-level mechanism of abstraction in the implementation of the key properties of cloud computing based on the concepts of "service" and "service-oriented architecture"; 3) to present a model of a multi-level architecture of a cloud computing platform developed by the author with a description of the interaction between the levels; 4) consider the use of combinatorial optimization in the process of redistributing the resources of cloud computing platforms between workloads; 5) determine the prospects for the use of the local cloud computing platform in the organization of scientific activity.

**Methods.** The methods of abstraction, modeling, leveling, combinatorial optimization are used.

**Results.** A restructured version of the original model of multi-level architecture of the cloud computing platform is proposed. The application of the model in formalizing the processes of optimizing the structure of the redistribution of resources by combinatorial optimization methods is presented. The possibility of attracting cloud computing in the organization of scientific activity is considered.

**Conclusion.** The original model of the multi-level architecture of cloud computing platforms developed by the author allows further formalization of the processes of internal interaction of their components. A mathematical model of resource structures of cloud computing platforms for combinatorial optimization has been developed. The argument of the objective function of combinatorial optimization is a combination without repetitions.

**Keywords:** *cloud computing platform, multi-level architecture, combinatorial optimization.*

*А.П. Лозинский*, младший научный сотрудник,  
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН  
и МОН Украины, просп. Акад. Глушкова, 40, Киев, 03187, Украина,  
loza@irtc.org.ua

## СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЛАТФОРМ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

**Введение.** Рассмотрено формирование идеи и реализация синтеза единой рабочей среды облачных вычислений из отдельных направлений информационных технологий. Описан многоуровневый механизм абстрагирования облачных услуг для достижения основных принципов реализации сервис-ориентированной архитектуры. Рассмотрено применение локальной платформы облачных вычислений в организации научной деятельности.

**Цель статьи:** представить процесс синтеза технологий в рамках идеи облачных вычислений; рассмотреть многоуровневый механизм абстрагирования в реализации ключевых свойств облачных вычислений на основе понятий "услуга" и "сервис-ориентированная архитектура"; представить разработанную автором модель многоуровневой архитектуры платформы облачных вычислений с описанием взаимодействия между уровнями; рассмотреть применение комбинаторной оптимизации в процессе перераспределения ресурсов платформ облачных вычислений между рабочими нагрузками; определить перспективы применения локальной платформы облачных вычислений в организации научной деятельности.

**Результаты.** Предложен реструктурированный вариант оригинальной модели многоуровневой архитектуры платформы облачных вычислений. Представлено применения модели в формализации процессов оптимизации структуры перераспределения ресурсов методами комбинаторной оптимизации. Рассмотрена возможность привлечения облачных вычислений в организации научной деятельности.

**Выводы.** Оригинальная модель многоуровневой архитектуры платформ облачных вычислений позволяет дальнейшую формализацию процессов взаимодействия внутренних компонентов. Разработана математическая модель структур ресурсов платформ облачных вычислений для комбинаторной оптимизации. Аргумент целевой функции комбинаторной оптимизации — сочетание без повторений.

**Ключевые слова:** *платформа облачных вычислений, многоуровневая архитектура, комбинаторная оптимизация.*