

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Навчально-науковий центр заочної форми навчання

(повна назва)

Кафедра

Інформаційно-мережної інженерії

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти

другий (магістерський)

Аналіз підходів до оцінки ефективності хмарних технологій

(тема)

Виконав:

здобувач 2024 року навчання,
групи ІМІзм-24-1

Данило ПОЙЧЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 172 Електронні комунікації та
радіотехніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна
інженерія

(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Юрій КОЛТУН

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Микола МОСКАЛЕЦЬ

(прізвище, ініціали)

2025 р.

Не містить відомостей заборонених до відкритого публікування.

Студент

/ Данило ПОЙЧЕНКО /

Керівник

/ Юрій КОЛТУН /

Харківський національний університет радіоелектроніки

Навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії
(повна назва)
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 172 Електронні комунікації та радіотехніка
(код і повна назва)
Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма «Інформаційно-мережна інженерія»
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« 20 » жовтня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Пойченку Данилу Петровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз методів вимірювання параметрів ВОЛЗ з використанням оптичного рефлектометра

затверджена наказом університету від « 20 » жовтня 2025 р. № 179 Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 22 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Платформи хмарних технологій, що підлягають обов'язковому аналізу: Amazon Web Services, Google App Engine, Microsoft Windows Azure.

Розглянути основні особливості, функціональну організацію, моделі розгортання та обслуговування хмарних технологій. Проаналізувати архітектурні рішення заданих платформ хмарних технологій та зробити їх порівняльний аналіз. Визначити фактори і показники ефективності, що їх описують, та проаналізувати підходи щодо оцінки показників ефективності хмарних технологій.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі.

Вступ

1. Загальні особливості організації хмарних обчислень, їх моделі розгортання і обслуговування.

2. Аналіз архітектурних рішень найпоширеніших платформ хмарних технологій.

3. Підходи щодо оцінки показників ефективності хмарних технологій.

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Слайди у форматі Power Point (назва, мета і актуальність кваліфікаційної роботи, прикладне застосування та моделі розгортання хмарних обчислень, узагальнена базова функціональна архітектура хмарних обчислень, базові моделі обслуговування хмарних технологій, архітектурна організація хмарної технології Microsoft Windows Azure (MWA), архітектурна організація хмарної технології Amazon Web Services (AWS), архітектурна організація хмарної технології Google App Engine (GAE), узагальнена порівняльна характеристика хмарних платформ MWA, AWS та GAE, фактори, що характеризують ефективність хмарних технологій та їх показники, визначення загального показника ефективності хмарних технологій, визначення показників ефективності для різних факторів, методологічний підхід щодо проведення визначення та оцінки показників ефективності висновки).

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	20.10 – 27.10.25	виконано
2	Підбір літератури за темою роботи.	28.10 – 04.11.25	виконано
3	Виконання розділу 1	05.11 – 15.11.25	виконано
4	Виконання розділу 2	16.11 – 28.11.25	виконано
5	Виконання розділу 3	29.11 – 12.12.25	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	13.12 – 16.12.25	виконано
7	Оформлення презентаційного матеріалу та подання роботи до ЕК	17.12 – 22.12.25	виконано
8	Підготовка до захисту та захист у ЕК	23.12 – 29.12.25	виконано

Дата видачі завдання 20 жовтня 2025 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

(доц.Юрій КОЛТУН)
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 65 с., 7 рис., – табл., 19 джерел, 2 додатки.

ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЦЕНТР ОБРОБКИ ДАНИХ, ПРИВАТНА ХМАРА, ПУБЛІЧНА ХМАРА, ГРОМАДСЬКА ХМАРА, ГІБРИДНА ХМАРА, IAAS, PAAS, SAAS, WEB-SERVICE, WEB-RESOURCE, AMAZON WEB SERVICES, GOOGLE APP ENGINE, MICROSOFT WINDOWS AZURE, ФАКТОРИ ЕФЕКТИВНОСТІ, ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ

Об'єкт дослідження – платформи хмарних технологій.

Мета роботи – аналіз існуючих підходів до оцінки ефективності хмарних технологій, визначення їх особливостей, переваг і обмежень, а також обґрунтування практичних рекомендацій їх практичного застосування в сучасних хмарних інфраструктурах.

Розглянуті основні поняття, особливості, моделі розгортання та надання послуг, а також технологічні принципи організації хмарних обчислень. Проведено аналіз найпоширеніших платформ хмарних технологій: Web Services від компанії Amazon, App Engine від компанії Google, Windows Azure від компанії Microsoft, і надана їм порівняльна характеристика. Зроблено аналіз підходів щодо оцінювання ефективності хмарних технологій. Сформовано перелік узагальнених факторів і систему відповідних показників, що комплексно відображають основні аспекти їх функціонування. На основі визначених факторів і показників розроблено комплексну методику оцінки ефективності хмарних технологій.

THE ABSTRACT

Explanatory note 65 pages, 7 fig., – tab., 19 sources, 2 app.

CLOUD TECHNOLOGIES, VIRTUALIZATION, DATA CENTER, PRIVATE CLOUD, PUBLIC CLOUD, COMMUNITY CLOUD, HYBRID CLOUD, IaaS, PaaS, SaaS, WEB-SERVICE, WEB-RESOURCE, AMAZON WEB SERVICES, GOOGLE APP ENGINE, MICROSOFT WINDOWS AZURE, EFFICIENCY FACTORS, EFFICIENCY INDICATORS

Object of research – cloud technology platforms.

The purpose of work – analysis of existing approaches to assessing the effectiveness of cloud technologies, identifying their characteristics, advantages, and limitations, as well as substantiating practical recommendations for their practical application in modern cloud infrastructures.

The basic concepts, features, models of deployment and provision of services, as well as the technological principles of organizing cloud computing are considered. The analysis of the most common cloud technology platforms: Web Services from Amazon, App Engine from Google, Windows Azure from Microsoft, and a comparative description was given to them. An analysis of approaches to evaluating the effectiveness of cloud technologies has been conducted. A list of generalized factors and a system of corresponding indicators have been compiled, which comprehensively reflect the main aspects of their functioning. Based on the identified factors and indicators, a comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of cloud technologies has been developed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	10
1 ЗАГАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ, ЇХ МОДЕЛІ РОЗГОРТАННЯ І ОБСЛУГОВУВАННЯ	13
1.1 Загальні підходи до трактування хмарних обчислень та їх моделі розгортання	13
1.2 Властивості та базова функціональна побудова хмарних обчислень	17
1.3 Базові моделі обслуговування, що підтримуються хмарними технологіями..	20
1.3.1 Модель обслуговування IaaS.....	20
1.3.2 Модель обслуговування PaaS.....	22
1.3.3 Модель обслуговування SaaS.....	23
2 АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ НАЙПОШИРЕНІШИХ ПЛАТФОРМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	26
2.1 Архітектурна організація хмарної технології MWA	26
2.2 Архітектурна організація хмарної технології AWS	33
2.3 Архітектурна організація хмарної технології	36
2.4 Порівняння хмарних платформ MWA, AWS та GAE	39
3 ПІДХОДИ ЩОДО ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	41
3.1 Визначення факторів і показників ефективності, що їх описують, щодо оцінки ефективності хмарних технологій	41
3.2 Аналітичний та методологічний підходи щодо визначення показників ефективності ХТ	43
ВИСНОВКИ	48
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	51
ДОДАТОК А ПУБЛІКАЦІЇ	53
ДОДАТОК Б Слайди презентації	58

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AES (Advanced Encryption Standard) – це алгоритм, що використовує блоки розміром 128 біт і ключі довжиною 128, 192 або 256 біт, є загальноприйнятим стандартом симетричного шифрування, затвердженим урядом США, та станом на 2009 рік належав до найпоширеніших криптографічних алгоритмів;

Amazon VPC (Amazon Virtual Private Cloud) – віртуальна приватна хмара Amazon;

AMI (Amazon Machine Image) – образ віртуальної машини Amazon;

API (Application Programming Interface) – прикладний програмний інтерфейс;

AWS (Amazon Web Services) – хмарна технологія компанії Amazon;

EaaS (Everything as a service) – все як послуга;

EBS – Elastic Block Storage – еластичне блокове сховище;

EC2 (Elastic Compute Cloud) – еластична обчислювальна хмара;

GAE (Google App Engine) – хмарна технологія компанії Microsoft Google;

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) – протокол передачі (переносу) гіпертексту;

IaaS (Infrastructure as a Service) – інфраструктура, як сервіс;

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) – Інститут інженерів електротехніки та електроніки;

IIS (Internet Information Server) – інформаційний web-сервер Internet

IN (Intelligent Network) – інтелектуальна мережа;

IT (Information Technology) – інформаційні технології;

MapReduce – модель розподілених обчислень, що використовується для паралельних обчислень над дуже великими, кілька петабайт, наборами даних у комп'ютерних кластерах;

MWA (Microsoft Windows Azure) – хмарна технологія компанії Microsoft;

NGN (Next Generation Network) – мережа наступного покоління;

NIST (National Institute of Standards and Technology) – Національний інститут стандартів і технологій (США);

PaaS (Platform as a Service) – платформа як сервіс;

REST (Representational State Transfer) – це архітектурний стиль для створення web-сервісів, набір правил і обмежень, який визначає, як компоненти розподілених систем (наприклад, клієнт і сервер) повинні взаємодіяти один з одним через Інтернет, використовуючи стандартні HTTP-методи для управління ресурсами (даними).

S3 (Simple Storage Service) – проста служба зберігання Amazon;
SaaS (Software as a Service) – програмне забезпечення як сервіс;
SLA (Service Level Agreement) – угода про рівень сервісу;
SQS (Simple Queue Service) – проста служба черги;
SOAP (Simple Object Access Protocol) – простий протокол доступу до об'єктів;
VM (Virtual Machine) – віртуальна машина;
VMI (Virtual Machine Interface) – інтерфейс віртуальної машини;
VPN (Virtual Private Network) – віртуальна приватна мережа;
VPS (Virtual Private Server) – виділений віртуальний сервер;
XML (eXtensible Markup Language) – розширювана мова розмітки;
XMPP (Jabber) (Extensible Messaging and Presence Protocol) – протокол, що заснований на мові розмітки XML. Це відкритий, вільний для використання протокол для миттєвого обміну повідомленнями та інформацією про присутність у режимі, що є близьким до реального часу.

БД – база даних;

ОС – операційна система;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПК – персональний комп'ютер;

ХО – хмарні обчислення;

ХТ – хмарні технодогії;

ЦОД – центр обробки даних.

ВСТУП

У сучасному інформаційному суспільстві хмарні обчислення (ХО) стали одним із базових технологічних напрямів розвитку його цифрової інфраструктури, в якій забезпечується надання обчислювальних ресурсів; реалізуються та розгортаються системи обробки, передачі та зберігання даних; надаються різноманітні програмні сервіси у вигляді послуг і додатків через мережу Інтернет, забезпечуючи при цьому масштабованість, гнучкість і доступність ресурсів хмарної інфраструктури для широкого кола користувачів. Це дозволяє значно зменшити витрати на створення, експлуатацію та обслуговування власних обчислювальних систем і систем зберігання даних. Згідно з уже проведеними до цього дослідженнями у галузі хмарних обчислень, впровадження хмарних технологій (ХТ) сприяє підвищенню гнучкості, масштабованості та ефективності сучасних інформаційних систем у різних сферах, таких як освіта, охорона здоров'я, фінансовий сектор, промисловість, наука, державне управління та інфокомунікації, формуючи основу цифрової економіки та сприяючи розвитку інноваційних сервісів і бізнес-моделей [1, 2].

Перспективність хмарних обчислень зумовлена насамперед можливістю надання обчислювальних ресурсів і програмних сервісів за вимогою, з мінімальними початковими витратами для користувача. Моделі, що застосовуються для надання хмарних сервісів дозволяє організаціям і окремим користувачам зосередитися на вирішенні безпосередньо своїй прикладних задач, не витрачаючи значних ресурсів на створення та підтримку власної ІТ-інфраструктури. В цілому для сучасного інформаційного суспільства це дозволяє підвищити доступність новітніх інформаційних технологій (Information Technology, IT) та прискорити процеси цифрової трансформації [2, 3].

На сьогоднішній день домінуючими хмарними інфраструктурами є три платформи: Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, Google App Engine. Ці платформи надають широкий спектр web-сервісів включаючи: віртуалізації обчислювальних ресурсів, хмарні сховища даних, обробки великих даних, машинного навчання, штучного інтелекту, засоби забезпечення інформаційної безпеки та управління. Завдяки тому, що наведені хмарні платформи мають

глобальну розподілену інфраструктуру, вони здатні забезпечувати високі рівні доступності і продуктивності сервісів, відмовостійкість, гнучкі підходи до масштабування і вибору економічних моделей використання ресурсів, а також швидкий доступ до них для користувачів у різних точках земної кулі [2, 4, 5].

Зі зростанням обсягів використання хмарних сервісів особливого значення набуває питання забезпечення і підтримки ефективності хмарних платформ. Під ефективністю у цьому контексті розуміється здатність хмарної інфраструктури забезпечувати необхідний рівень продуктивності, надійності, обробки запитів, масштабованості та економічної доцільності при раціональному використанні обчислювальних і мережних ресурсів. Забезпечення ефективності хмарних технологій є критично важливим як для кінцевих користувачів, так і для постачальників хмарних послуг. Зокрема для користувачів ефективність хмарних платформ безпосередньо впливає на якість доступу до сервісів, швидкодію застосунків, стабільність роботи та вартість використання ресурсів. Недостатньо ефективне функціонування хмарної інфраструктури може призводити, наприклад, до збільшення затримок у разі здійснення доступу до сервісів або до зайвих фінансових витрат. Зі свого боку, для провайдерів ефективність є визначальним чинником конкурентоспроможності, оскільки впливає на оптимізацію витрат на інфраструктуру, енергоспоживання, балансування навантажень і дотримання угод про рівень надання сервісу (Service Level Agreement, SLA) [2, 6].

У зв'язку з цим стає важливою задача оцінки ефективності ХТ. Здійснення такої оцінки є само по собі є складною багатокритеріальною задачею, яка включає аналіз технічних, економічних і організаційних показників. Серед основних підходів до оцінки ефективності можна виділити аналіз продуктивності, оцінку використання ресурсів, економічні моделі ефективності, аналіз якості обслуговування (Quality of Service, QoS) та надійності, а також комплексні інтегральні методи. Вибір конкретного підходу залежить від цілей дослідження, типу хмарної моделі обслуговування (IaaS, PaaS, SaaS) та умов експлуатації платформи [6, 7].

Таким чином, стрімке зростанням ролі ХТ у всіх сферах суспільного життя та необхідність обґрунтованого вибору і оптимізації хмарних рішень в умовах зростання обсягів даних, підвищених вимог до надійності та продуктивності сервісів, а також потреба у систематизації підходів до оцінки ефективності

хмарних технологій є на цей час актуальною задачею. Результати такого аналізу можуть бути використані як користувачами хмарних сервісів, так і провайдерами для підвищення якості та економічної доцільності функціонування хмарних платформ. Звідси метою цієї магістерської кваліфікаційної роботи є аналіз та порівняння існуючих підходів до оцінки ефективності хмарних технологій, визначення їх особливостей, переваг і обмежень, а також обґрунтування напрямів їх практичного застосування в сучасних хмарних інфраструктурах.

1 ЗАГАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ, ЇХ МОДЕЛІ РОЗГОРТАННЯ І ОБСЛУГОВУВАННЯ

1.1 Загальні підходи до трактування хмарних обчислень та їх моделі розгортання

Фундаментальна концепція ХО сформувалася в результаті еволюційного розвитку інформаційних технологій упродовж останніх десятиліть. Однією з ключових передумов її виникнення стало суттєве зростання пропускнуої здатності мережі Інтернет у 90-х роках ХХ століття і фактично необмежене зростання різноманітних послуг, сервісів, додатків та інших ресурсів, що стали доступними мільйонам користувачів. І на сучасному етапі свого розвитку хмарні інфраструктури являють собою масштабні розподілені системи, що складаються з тисяч серверів, розміщених у центрах обробки даних, та забезпечують функціонування десятків тисяч програмних продуктів, якими одночасно можуть користуватися користувачі різних країн у всьому світі. Звідси, з точки зору даного підходу ХО розглядаються як спосіб розміщення, надання та споживання програмних застосунків і обчислювальних ресурсів, за якого доступ до них здійснюється через мережу Інтернет у формі web-сервісів, які є незалежними від мережних платформ, що використовуються і кінцевих пристроїв. Оплата за використання таких web-сервісів, як правило, здійснюється відповідно до фактичного обсягу спожитих ресурсів [8].

Застосування такого хмарного підходу забезпечує можливість щодо динамічного надання різноманітних послуг користувачам, а користувачі отримують можливість залежно від своїх потреб в реальному часі змінювати обсяг задіяних ресурсів без необхідності довгострокових фінансових зобов'язань. Такий підхід можна розглядати як подальший розвиток концепції персоналізації послуг, елементи якої раніше реалізовувалися в мережах IN (Intelligent Network), а згодом були інтегровані в концепцію мереж NGN (Next Generation Network). Водночас характерною особливістю хмарних технологій є нерівномірність споживання користувачами обчислювальних ресурсів у часі. Для вирішення цього питання, щоб зробити навантаження більш рівномірно розподіленим в межах хмарної інфраструктури широко застосовуються різноманітні технології віртуалізації і, зокрема, віртуалізації серверів [8].

Використання віртуалізації цього типу забезпечує незалежність програмного забезпечення від фізичного серверного обладнання. Тобто, на одному фізичному сервері може одночасно функціонувати декілька ізольованих віртуальних операційних систем (ОС). Це дає змогу ефективно використовувати ресурси хмарної інфраструктури шляхом здійснення гнучкого управління кількістю задіяних фізичних серверів і, розгорнутих на них віртуальних серверів.

Фізичні вузли хмарної інфраструктури (зокрема фізичні сервери) функціонують у тісній взаємодії, що дозволяє хмарним застосункам використовувати всю сукупну обчислювальну потужність доступного обладнання. Залежно від поточних вимог конкретного застосунку, обсяг фізичних ресурсів, що споживається, може гнучко змінюватися, зокрема шляхом їх зменшення у разі виконання другорядних завдань.

Окрім наведеного загальноприйнятого ключового трактування ХО, на сьогодні існує значна кількість інших подань цього поняття, які відрізняються підходами до інтерпретації самої концепції та акцентами на окремих аспектах використання сервісів. Для формування комплексного уявлення про ХО тут доцільно навести найбільш поширені з них [8]:

- ХО є динамічним і масштабованим способом доступу до зовнішніх обчислювальних ресурсів у формі web-сервісу, що надається через мережу Інтернет, при цьому користувач не потребує спеціальних знань щодо внутрішньої архітектури або адміністрування хмарної інфраструктури;

- ХО являють собою сукупність програмно-апаратних засобів, які доступні користувачеві в мережі Інтернет, або через локальну мережу у вигляді сервісу, що забезпечує віддалений доступ до обчислювальних ресурсів, програмного забезпечення та даних за допомогою зручного інтерфейсу, при цьому комп'ютер користувача виконує роль клієнтської робочої станції, а розподіл навантаження між фізичними вузлами здійснюється автоматично;

- ХО є підходом для доступу до web-сервісів, який спрямований на зменшення складності систем ІТ за рахунок використання автономних та ефективних технологій, управління якими здійснюється автоматизовано, у межах віртуальної інфраструктури, які надаються клієнтам за вимогою у вигляді web-сервісів, що дозволяє знизити витрати на ІТ та підвищити гнучкість і якість надання послуг;

- ХО являють собою основу сучасних бізнес-моделей надання безлічі різноманітних інформаційних послуг, впровадження яких сприяє скороченню операційних і капітальних витрат та дає змогу компаніям зосередитися на

стратегічному розвитку замість управління власними центрами обробки даних (ЦОД), створюючи при цьому умови для виходу на ринок нових постачальників ІТ-послуг;

- ХО є інструментом підвищення ефективності спеціалізації та реалізації аутсорсингу в галузі інформаційних технологій, який передбачає передачу функцій управління ІТ-інфраструктурою зовнішнім професійним постачальникам, а також можливість створення приватних хмарних платформ з урахуванням юридичних, технологічних та інформаційних вимог замовників.

Слід також звернути увагу, що серед численних розглянутих вище і багатьох інших підходів щодо визначення понять ХО і ХТ, також заслуговує на увагу подання, яке було запропоноване американським Національним інститутом стандартів і технологій (National Institute of Standards and Technology, NIST) у 2011 році. Відповідно до цього визначення, ХО розглядаються як інформаційно-технологічна концепція, що забезпечує повсюдний і зручний мережний доступ за запитом до спільного пулу обчислювальних ресурсів, зокрема мереж передачі даних, серверів, засобів зберігання інформації, програмних застосунків і сервісів, які можуть використовуватися як у сукупності, так і окремо. Зазначені ресурси можуть оперативно надаватися та вивільнятися з мінімальними експлуатаційними витратами або без необхідності безпосередньої взаємодії з постачальником послуг [1].

Аналіз наведених підходів щодо трактування і визначення ХО з позиції різних аспектів їх застосувань свідчить про можливості широкого прикладного застосування хмарних підходів у всіх сферах життя сучасного суспільства. Зокрема, це публічні поштові сервіси, інструменти створення та редагування документів, платформи для публікації і обробки мультимедійного контенту, хмарні сховища даних, онлайн-ігри в реальному часі із можливістю інтерактивного спілкування гравців і обміну даними, тощо (рис. 1.1) [9].

Крім того, у документі [1], *що був підготовлений* вже згаданим (NIST, наводиться класифікація моделей розгортання ХО, відповідно з якою хмарні інфраструктури поділяються на приватні, публічні, суспільні та гібридні (рис. 1.1):

- приватна хмара (Private cloud) являє собою хмарну інфраструктуру, що орієнтована на використання однією організацією, яка може об'єднувати декілька груп користувачів, наприклад структурні відділи та підрозділи цієї організації. Така інфраструктура може перебувати у власності, управлінні та експлуатації як самої організації, так і стороннього постачальника або їх поєднання, а також може фізично розміщуватися як у межах, так і за межами юрисдикції власника;

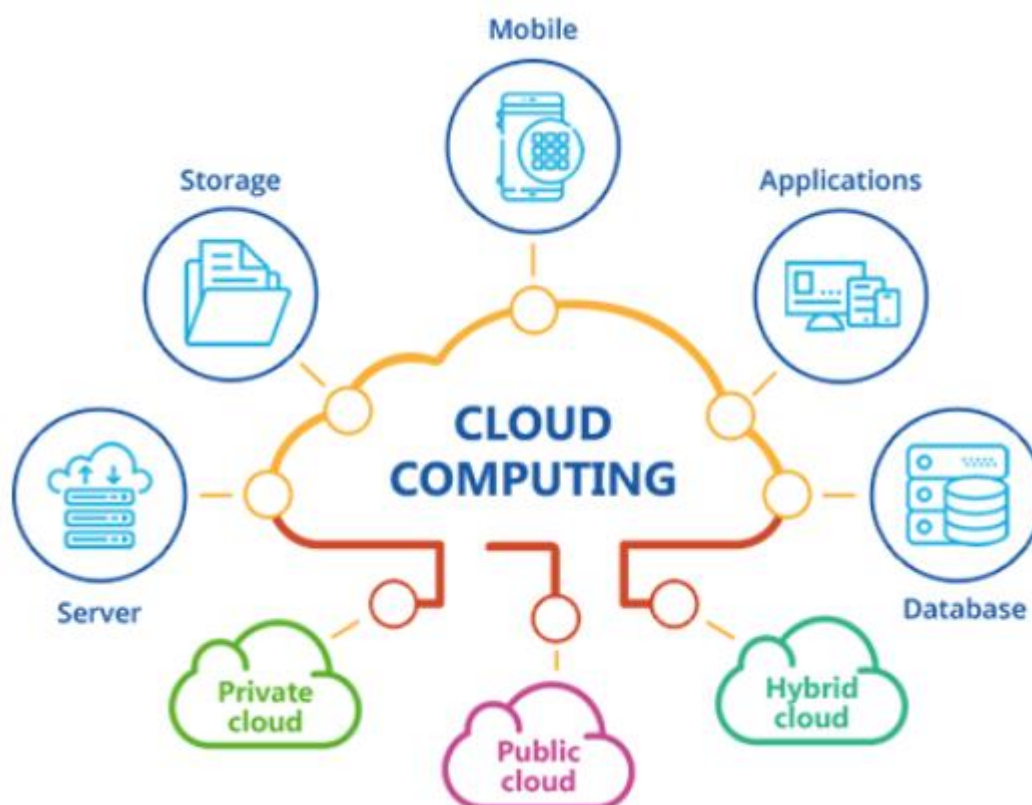


Рисунок 1.1 – Прикладне застосування та моделі розгортання ХО

- публічна (загальнодоступна, суспільна) хмара (Public cloud) призначена для вільного використання необмеженою кількістю користувачів, що належать до різних суспільних груп. Вона може перебувати у підпорядкуванні та управлінні і експлуатації у комерційних, наукових або державних організацій, а також їх комбінацій, при цьому фізичне розміщення інфраструктури належить постачальнику хмарних послуг. Ключовою відмінністю приватних хмар від публічних є те, що доступ до сервісів приватної хмари надається в межах закритої інфраструктури обмеженому колу користувачів, тоді як публічні хмари орієнтовані на масове використання;

- гібридна хмара (Hybrid cloud) являє собою поєднання різних вищезгаданих хмарних інфраструктур, тобто публічних і приватних, які зберігають свою автономність, проте взаємодіють між собою за допомогою стандартизованих або спеціалізованих технологій передачі даних і програмних застосунків. Прикладом такого підходу є тимчасове залучення ресурсів публічної хмари для балансування навантаження між різними хмарними середовищами.

Зазначу, що добре спланована гібридна хмарна інфраструктура може здійснювати обслуговувати як критично важливих процесів, що вимагають

безпеки, наприклад, отримання платежів від клієнтів, так і менш важливих процесів. Основним недоліком цього типу хмарної інфраструктури є складність ефективного запровадження подібних рішень та управління ними. Доводиться отримувати послуги з різних джерел і забезпечувати їх організацію так, ніби це є єдине джерело [10].

1.2 Властивості та базова функціональна побудова хмарних обчислень

Щоб визначити основні властивості сервісів ХО, знову звернемося до документу [1] американського інституту NIST. Зокрема серед них треба звернути увагу на наступні [1, 11]:

- самообслуговування за вимогою – користувач має можливість самостійно, у міру виникнення потреби, отримувати доступ до обчислювальних ресурсів у автоматизованому режимі без необхідності безпосередньої взаємодії з персоналом постачальника хмарних послуг;

- широкосмуговий мережний доступ – надані обчислювальні ресурси є доступними через мережу з використанням стандартних засобів доступу та підтримуються різними клієнтськими платформами, зокрема тонкими і товстими клієнтами, смартфонами, планшетами, ноутбуками та робочими станціями, та іншими;

- об'єднання ресурсів у пули – обчислювальні ресурси постачальників послуг об'єднуються у спільні пули з метою обслуговування кількох користувачів за багатокористувацькою моделлю. Фізичні та віртуальні ресурси динамічно розподіляються і перерозподіляються між користувачами відповідно з їх поточним попитом. Але при цьому користувач, як правило, не має можливості визначати точне фізичне розташування задіяних ресурсів, однак може задавати його на узагальненому рівні, наприклад, у межах країни, регіону або конкретного центру обробки даних. До таких ресурсів належать обчислювальні потужності, систем зберігання і обробки даних, оперативна пам'ять та пропускна здатність мережі;

- керований сервіс – система управління хмарною інфраструктурою здійснює автоматизований контроль і оптимізацію процесів виділення ресурсів на основі вимірюваних параметрів сервісу, зокрема: обсягу систем зберігання,

пропускної здатності каналів зв'язку, кількості активних користувачів та інших показників;

- швидка еластичність - обчислювальні ресурси можуть оперативно надаватися та вивільнятися, у тому числі в автоматичному режимі, що забезпечує швидке масштабування хмарних сервісів відповідно до змін попиту на них. З точки зору користувача, доступні ресурси виглядають практично необмеженими і можуть бути залучені в необхідному обсязі у будь-який момент часу;

- облік використання сервісів - хмарні системи забезпечують автоматизований облік, контроль та оптимізацію використання ресурсів за допомогою відповідних механізмів моніторингу, реалізованих на різних рівнях абстракції для окремих видів сервісів, таких як обчислення, зберігання даних, пропускна здатність мережі або кількість активних сесій користувачів. Це дає змогу здійснювати прозорий контроль за користування ресурсами, як з боку постачальника, так і з боку користувача хмарних сервісів.

Окрім зазначених базових властивостей ХО, що були сформовані NIST, суттєве значення для їх побудови і функціонування мають також масштабованість і віртуалізація.

Під масштабованістю мається на увазі здатність хмарної інфраструктури динамічно адаптувати обсяг інформаційних ресурсів до змін навантаження, зокрема у разі зростання або зменшення кількості користувачів, зміни вимог до обчислювальної потужності чи обсягу систем зберігання даних. Таким чином, ресурси можуть оперативно виділятися та вивільнятися відповідно до поточних потреб із високим рівнем гнучкості [11].

Віртуалізація використовується насамперед для реалізації механізмів абстракції та інкапсуляції. Зокрема абстракція забезпечує уніфікацію базових обчислювальних, комунікаційних ресурсів і засобів зберігання інформації шляхом їх об'єднання в єдиний пул та формування уніфікованого шару ресурсів, що подаються у віртуалізованому вигляді. У такому вигляді ресурси надаються користувачам і верхнім рівням хмарних систем як віртуальні сервери, серверні кластери, файлові системи та системи управління базами даних. Інкапсуляція програмних застосунків, у свою чергу, сприяє підвищенню рівня безпеки, керованості та ізольованості процесів, що виконуються [11].

Додатковою важливою особливістю ХО є тісна інтеграція апаратних ресурсів і системного ПЗ з прикладними застосунками, які надаються кінцевим

користувачам у вигляді сервісів за моделлю обслуговування програмне забезпечення як сервіс (Software as a Service, SaaS) [11].

З урахуванням розглянутих властивостей базова функціональна будова ХО представляється у вигляді двошарової архітектури, що узагальнено наведена на рис. 1.2 [11].

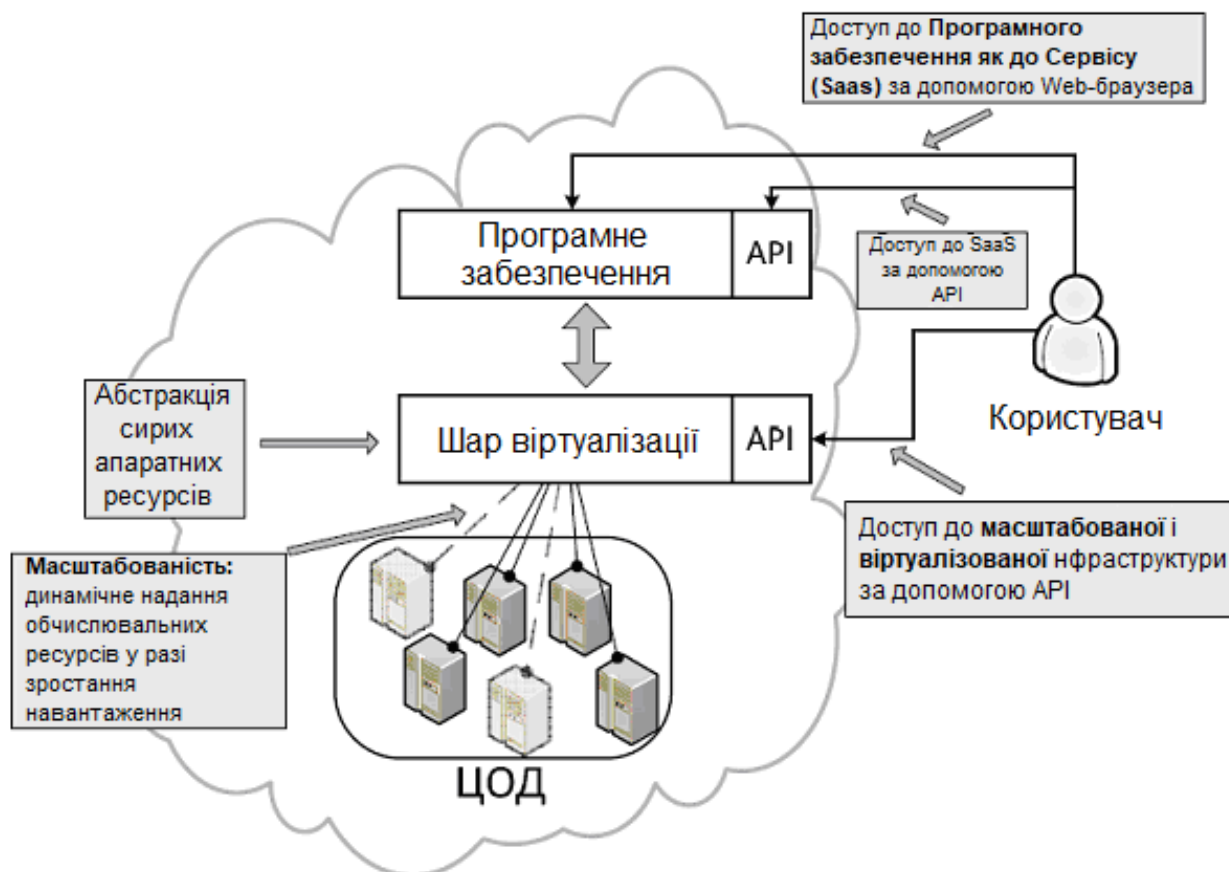


Рисунок 1.2 – Узагальнена базова функціональна архітектура ХО

Зокрема, шар користувача (front-end) охоплює компоненти, з якими безпосередньо взаємодіє користувач, отримуючи інформаційні ресурси у формі сервісів від зовнішнього постачальника з оплатою відповідно до фактичного обсягу споживання. Прикладом такого шару є ПЗ, що реалізує web-інтерфейс роботи з електронною поштою сервісу Gmail у браузері користувача. Другий шар наведеної архітектури або внутрішній шар (back-end) є прихованим від користувача. Він забезпечує функціонування інтерфейсу користувача та включає підтримку ресурсів центрів обробки даних, їх сервісів і фізичного обладнання.

1.3 Базові моделі обслуговування, що підтримуються хмарними технологіями

ХТ базуються на трьох основних моделях обслуговування, які можна розглядати як рівні або шари, за якими здійснюється розподіл хмарних сервісів між різними групами користувачів (рис. 1.3) [9].

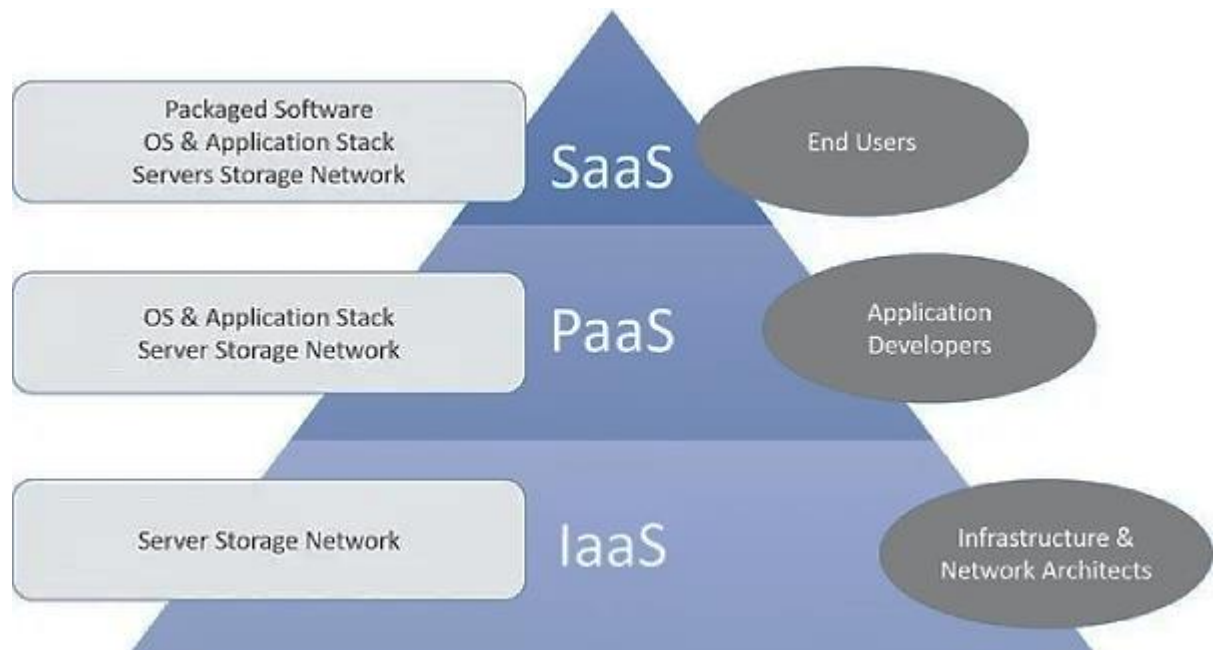


Рисунок 1.3 – Базові моделі обслуговування хмарних технологій

Ці моделі включають [9]:

- IaaS (Infrastructure as a Service – Інфраструктура як сервіс): надає доступ до базових обчислювальних ресурсів (сервери, сховища даних, мережі);
- PaaS (Platform as a Service – Платформа як сервіс): пропонує середовище для розробки, розгортання та управління додатками;
- SaaS (Програмне забезпечення як сервіс): дозволяє користувачам отримувати доступ до готових програмних рішень через мережу.

Проаналізуємо їх більш докладніше.

1.3.1 Модель обслуговування IaaS

Infrastructure as a Service – це модель надання обчислювальної інфраструктури у вигляді сервісу в межах концепції організації ХО. Вона

базується на технологіях віртуалізації, що дозволяє реалізувати спільне використання фізичного обладнання кількома споживачами, наприклад шляхом поділу фізичних серверів на віртуальні їх віртуальні прототипи. Такий підхід забезпечує підвищення ефективності використання апаратних ресурсів [9, 12].

Модель IaaS надає клієнтам, зокрема підприємствам і розробникам програмного забезпечення, можливість орендувати інфраструктурні ресурси, зокрема сервери, системи зберігання даних і мережне обладнання. Оплата здійснюється відповідно до фактично спожитих ресурсів – часу на обслуговування, дисковий простір, смугу пропускання мережі, тощо, з можливістю здійснення оперативного масштабування обсягу ресурсів у більший або менший бік. У цій моделі управління фізичною інфраструктурою забезпечує безпосередньо постачальник послуг, тоді як клієнт може здійснювати лише налаштування ОС та інсталюваними додатками [12].

Однією з ключових переваг IaaS є відсутність необхідності придбання та обслуговування власного дороговартісного обладнання, значна частина якого може в продовж деякого часу використовуватися неефективно. Таким чином, ця модель орієнтована насамперед на корпоративних користувачів та підприємства і передбачає надання замовникам широкого набору комп'ютерних ресурсів, зокрема серверів, різноманітного мережного обладнання, систем зберігання даних, а також програмних засобів для здійснення управління ними.

Першою компанією, що стала повномасштабно підтримувати продукти IaaS вважається Amazon, яка запропонувала web-сервіси Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) та Amazon Simple Storage Service (S3).

Зокрема сервіс EC2 забезпечує надання віртуальних серверів із фіксованими характеристиками, реалізованих на основі платформи Xen-хостінгу, що підтримує віртуалізацію за допомогою гіпервізора, який забезпечує паралельне виконання декількох ОС на одному фізичному вузлі. Зокрема ця платформа дозволяє гіпервізору в хостовій системі забезпечувати процеси управління гостьовою ОС із застосуванням інтерфейсів віртуальних машин (Virtual Machine Interface, VMI) [8].

Гіпервізор або по іншому монітор VM – є ключовим компонентом віртуалізації, який забезпечує можливість одночасного функціонування кількох ОС на одному фізичному хості, здійснюючи керування їх взаємодією з апаратним забезпеченням.

Web-сервіс S3, як видно із назви, призначений для зберігання даних і реалізує підтримку доступу через інтерфейс WebDAV, що базується на розширеннях

протоколу HTTP та забезпечує віддалене управління файлами і спільну роботу з ними.

Окрім Amazon, серед постачальників інфраструктурних хмарних сервісів можна також виділити платформи GoGrid, Enomaly та Eucalyptus. Зокрема, GoGrid надає зручні засоби управління віртуальними серверами з можливістю динамічного масштабування сховищ, Enomaly забезпечує автоматичне масштабування і балансування навантаження, а програмний комплекс Eucalyptus з відкритим кодом дозволяє розгорнути хмарні середовища, сумісні з інтерфейсом Amazon EC2 [8].

1.3.2 Модель обслуговування PaaS

Platform as a Service – це модель ХО, яка забезпечує надання інтегрованої платформи для розроблення, тестування, розгортання та супроводу web-застосунків у вигляді сервісу. У традиційному підході зазначені етапи, як правило, реалізуються в різних середовищах. Використання моделі PaaS дозволяє об'єднати всі ці процеси в єдиному середовищі, що усуває потребу в підтримці окремих інфраструктур для кожного етапу життєвого циклу ПЗ. У результаті зменшуються витрати як на придбання та експлуатацію апаратних ресурсів, так і на обслуговування програмних сервісів [13].

Реалізація моделі PaaS надає низку переваг, зокрема масштабованість, відмовостійкість, використання віртуалізації та підвищений рівень безпеки [8]. Зокрема масштабованість у межах цієї моделі реалізується шляхом автоматизованого виділення та вивільнення обчислювальних ресурсів залежно від кількості користувачів, які одночасно обслуговуються відповідним застосунком. Важливою особливістю PaaS є можливість централізованого створення та спільного використання вихідного коду в межах команди розробників, що сприяє підвищенню продуктивності процесів розроблення програмних продуктів [13].

Одним із поширеніших прикладів реалізації моделі PaaS є хмарна платформа Google App Engine, яка надає середовище для хостингу web-застосунків із можливістю додаткового залучення обчислювальних ресурсів, зокрема для тестування підвищених навантажень. Для запуску застосунків Google App Engine у віртуалізованих кластерних середовищах було створено платформу AppScale, яка, проте, не є пропріетарною розробкою компанії Google.

Серед інших представників моделі PaaS можна виокремити продукти компанії Mosso, зокрема Cloud Sites, що забезпечує хостинг високонавантажених web-проектів; Cloud Files – файловий хостинг, що призначений для хмарного зберігання даних із погодинною або щомісячною оплатою за обсяг, а також Cloud Servers, який передбачає оренду серверних ресурсів із можливістю вибору ОС та зміни їх конфігурації [8].

Також важливим представником, що забезпечують підтримку PaaS-рішень є компанія Microsoft з хмарною платформою Windows Azure, яка формує єдине хмарне середовище, що об'єднує серверні продукти Microsoft та інструменти розробки. До складу цієї платформи входять хмарні аналоги традиційних сервісів, зокрема SQL Azure, Exchange Online, SharePoint Online та Microsoft Dynamics CRM Online, а також засоби проведення розробок на основі .NET Framework і середовища Visual Studio. Це забезпечує можливість безпосереднього розгортання створених web-застосунків у хмарній інфраструктурі Windows Azure без виходу з середовища розроблення Visual Studio [8].

1.3.3 Модель обслуговування SaaS

Software as a Service – це модель XO для здійснення розгортання додатку, за умови використання якої прикладні програми надаються кінцевим користувачам у вигляді сервісів за запитом. У межах цієї моделі постачальник самостійно розробляє, розгортає та адмініструє web-застосунок, забезпечуючи доступ до нього через мережу Інтернет (із використанням браузера). Усі витрати, що пов'язані з підтримкою працездатності додатку, покладаються на постачальника, тоді як користувач у разі платного сервісу здійснює оплату відповідно або за час фактичного його використання, або у формі абонентської плати за певний проміжок часу [14].

Основною перевагою моделі SaaS для споживачів є відсутність витрат на встановлення, оновлення та технічну підтримку програмного забезпечення й апаратних засобів, необхідних для його функціонування. Водночас для розробника така модель знижує ризики несанкціонованого копіювання та розповсюдження програмного продукту.

Таким чином, для моделі SaaS характерні такі особливості [8]:

- застосунки є орієнтованими на можливість віддаленого використання;

- один і той самий застосунок може бути у використанні декількох користувачів;
- оплата послуг здійснюється у формі регулярної абонентської плати або залежно від обсягу виконаних операцій;
- інформаційно-технічна підтримка та супровід входять до вартості сервісу;
- оновлення та модернізація застосунку виконуються постачальником і є прозорими процесами для користувачів.

З боку розробників ПЗ, ця модель обслуговування забезпечує ефективний механізм протидії використанню неліцензійних копій, оскільки користувачі не мають можливості локального зберігання, встановлення чи копіювання програмного продукту. Загалом SaaS може розглядатися як зручна та економічно доцільна альтернатива традиційним внутрішнім інформаційним системам підприємств і організацій.

Згідно з даними, що є наведеними в [8], найбільш затребуваними SaaS-застосунками є сервіси електронної пошти, комунікаційні платформи (зокрема VoIP), антивірусні та антиспам-рішення, системи підтримки клієнтів (Helpdesk), засоби управління проєктами, дистанційне навчання, забезпечення управління взаємодії користувачів з хмарною платформою, а також сервіси зберігання та резервного копіювання даних.

До поширених прикладів реалізації моделі SaaS належать сервіси MobileMe (Apple), Azure (Microsoft) і LotusLive (IBM), які надають користувачам можливість зберігання персональних даних та можливості щодо організації спільної роботи з документами [8, 14]. Аналогічні функції реалізуються у сервісах компанії Google, зокрема в проєкті GDrive, що забезпечує доступ до віддаленого сховища даних, яке є інтегрованим з операційною системою користувача.

Ще одним із напрямів застосування SaaS є сервіси резервного копіювання даних, які автоматично здійснюють шифрування та передачу інформації на віддалені сервери за заданим розкладом, забезпечуючи доступ до даних з будь-якого місця. Подібні послуги надаються багатьма компаніями, зокрема Nero та Symantec [14].

Хмарні технології також знайшли застосування у сфері комп'ютерних ігор, де обробка даних і графічний рендеринг виконуються на віддалених серверах, а користувачі отримують уже сформований відеопотік. Це дозволяє зменшити вимоги до апаратних ресурсів клієнтських пристроїв, прикладом чого є сервіс OnLive.

Окремо треба звернути увагу на те, що посилення конкуренції на ринку ХТ сприяло появі безкоштовних SaaS-рішень. Зокрема, компанії Google та Microsoft запропонували онлайн-сервіси для роботи з документами, такі як Google Docs та Office Web Apps відповідно. Ці web-сервіси є інтегровані з поштовими сервісами своїх хмарних інфраструктур (Gmail в Google і Hotmail в Microsoft) та їх хмарними сховищами даних [8].

Таким чином, аналіз базових моделей обслуговування свідчить про ієрархічну побудову хмарних сервісів, за якої SaaS базується на можливостях PaaS, а PaaS, у свою чергу, функціонує на основі інфраструктурних ресурсів IaaS, забезпечуючи спадкоємність і розширення функціональних можливостей, що також можна бачити на рис. 1.3.

2 АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ НАЙПОШИРЕНІШИХ ПЛАТФОРМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Виходячи з аналізу моделей обслуговування ХТ і даних, що є наведеними у джерелах [2, 4, 5, 8 - 11], можна констатувати, що на цей час серед постачальників сервісів на основі хмарних інфраструктур сформувалася домінуюча трійка компаній, які є лідерами в даному напрямку: Amazon, Microsoft і Google. Усвідомлюючи значний комерційний потенціал ХО і послуг, що надаються на їх платформах, багато державних і корпоративних структур по всьому світу прийняли рішення про підтримку та інвестування в розвиток технологій хмарних обчислень, що пропонуються зазначеними компаніями. Це сприяло появі і широкому поширенню таких платформ хмарних технологій, як Amazon Web Services (AWS), Microsoft Windows Azure (MWA) і Google App Engine (GAE), які включають в себе комплекс різноманітних хмарних web-сервісів і послуг. Надалі у цьому розділі зробимо аналіз архітектурних реалізацій цих платформ.

2.1 Архітектурна організація хмарної технології MWA

Хмарна технологія Windows Azure компанії Microsoft є платформою, орієнтованою передусім на підтримку моделі обслуговування *PaaS*. Інструментарій, що надається цією платформою, забезпечує можливості для розробки рішень, що включають хмарну ОС та сукупність потрібних сервісів для розробників. Таким чином, MWA являє собою комплекс взаємопов'язаних технологій, об'єднаних у хмарну інфраструктуру, кожна з яких надає визначений набір функціональних сервісів. Ця платформа MWA містить такі основні категорії сервісів [15]:

- хмарні додатки – сукупність постійно доступних і масштабованих web-сервісів, що є розгорнутими у хмарній інфраструктурі MWA, та які можуть безпосередньо використовуватися кінцевими користувачами. Зокрема, до них належать, наприклад, Bing, Windows Live Hotmail, Office Live та інші;

- програмні сервіси – web-сервіси, які відповідають моделі обслуговування *SaaS*. Зокрема, до них належать, наприклад, Online, SharePoint Online, Office Communications Online та інші;

- платформні сервіси – фактично це модель публічної хмари, що надає розробникам середовище для впровадження новітніх рішень. Зокрема, до них належать, наприклад, SQL Azure, App Services та Windows Azure;

- сервіси інфраструктури – набір web-сервісів MWA, які призначені для забезпечення підтримки функціонування інфраструктурних хмарних ресурсів.

Платформа MWA здійснює зберігання, обробку та модифікацію даних, а також виконання Windows-додатків і інших програмних застосунків на обчислювальних ресурсах ЦОД компанії Microsoft. За своєю суттю платформа MWA може розглядатися як хмарна ОС, що надає обчислювальні ресурси, засоби зберігання даних та інструменти управління сервісами. Зокрема MWA можна використовувати для реалізації наступних задач [16]:

- реалізації розміщення web-додатків у хмарному середовищі, при якому хмарна інфраструктура маршрутизує клієнтські запити до одного з екземплярів web-ролі віртуальної машини (Virtual Machine, VM), де відповідний програмний код обробляє отриманий запит;

- здійснення паралельної обробки даних, що передбачає асинхронну обробку великих об'ємів інформації. У цьому випадку клієнтський додаток, наприклад WPF-додаток, надсилає запит до web-сервісу, який поміщається в чергу Azure Queue, після чого результати обробки зберігаються в Azure Table;

- інтеграції локальних обчислювальних ресурсів із хмарною інфраструктурою, що забезпечує спільне використання локальних і хмарних обчислювальних потужностей.

Розглянемо більш детально архітектурну організацію платформи хмарної технології MWA, яка у версії на 2013 рік показана на рис. 2.1 [16].

Взаємодія з компонентами MWA здійснюється за допомогою порталу керування (Management Portal), який виконує функції інтерфейсу користувача у хмарі та реалізований у стилі, що є наближеним за своїм поданням до інтерфейсу ОС Windows 8. Тобто подання цього інтерфейсу користувача є орієнтованим на інтерфейси середовищ користувача комп'ютерів і характеризується використанням наочних та інтуїтивно зрозумілих піктограм, що відображають і забезпечують виконання основних дій, які є доступними користувачеві, наприклад: створення web-сайтів, бази даних (БД), віртуальні машини, та інше. Портал керування MWA забезпечує доступ до таких основних її компонентів (рис. 2.1) [16]:

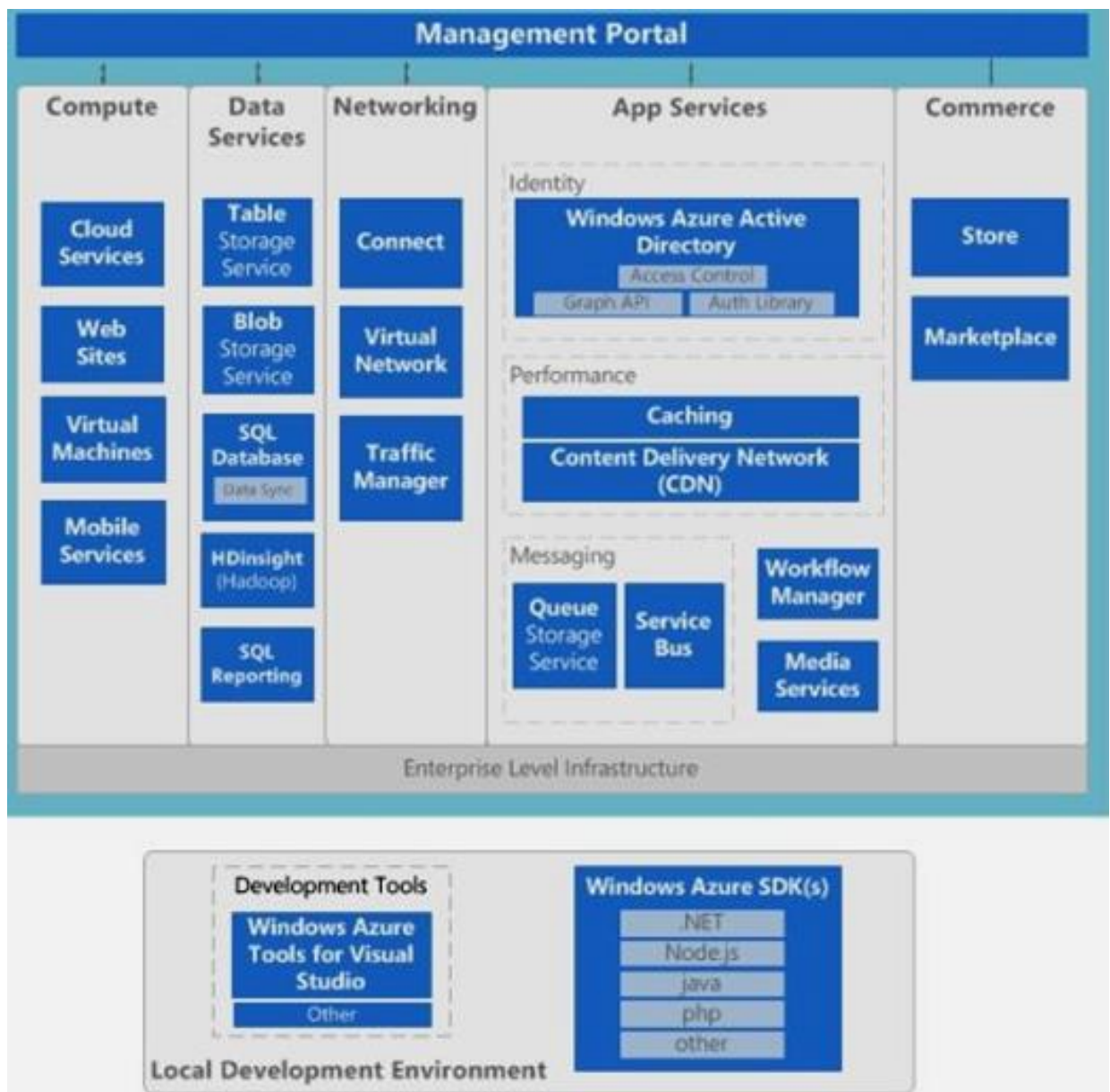


Рисунок 2.1 – Архітурна організація хмарної технології MWA

- Compute (обчислювальні ресурси) – засоби керування обчислювальними процесами у хмарному середовищі, включно з хмарними web-сервісами та web-додатками, VM і мобільними сервісами;
- Data Services (сервіси даних) – інструментарій для керування хмарними даними та БД;
- Networking (мережні сервіси) – засоби керування мережною взаємодією між локальною інфраструктурою користувача та хмарними додатками, включно з сервісами мережного з'єднання (Connect), віртуальними приватними мережами

(Virtual Network), а також механізмами балансування мережного навантаження (Traffic Manager);

- App Services (сервіси керування додатками) – забезпечуються основний інструментарій MWA для розгортання, налаштування та адміністрування хмарних додатків;

- Commerce (комерційні сервіси) – засоби реалізації та поширення хмарних додатків, зокрема через web-сервіси продажу (Store) і розповсюдження (Marketplace);

Розглянемо зазначені компоненти MWA та їх функціональні можливості більш детально.

Компонента Compute (обчислення) призначена для забезпечення виконання прикладних програм у хмарному середовищі та надає комплекс засобів для розгортання, управління і масштабування обчислювальних ресурсів (рис. 2.1) [14].

Зокрема, у межах цієї компоненти реалізовано можливість підтримки хмарних сервісів (Cloud Services), які дозволяють оперативно розгортати багаторівневі додатки та здійснювати централізоване керування їх функціонуванням. Платформа MWA у цьому випадку забезпечує надання необхідних сервісів, автоматичне балансування навантаження, моніторинг стану системи та контроль постійної доступності додатків.

Крім того, в цю компоненту включені засоби для створення та розгортання веб-сайтів (Web Sites), що забезпечують можливість швидкої розробки web-ресурсів незалежно від ОС, що використовується. Для цього підтримуються відомі технології та платформи розробки, зокрема ASP.NET, PHP та Node.js, що сприяє гнучкості вибору інструментів і спрощує процес впровадження web-додатків у хмарному середовищі.

Важливою складовою Compute є підтримка VM. Це надає користувачеві повний контроль над віртуальним хмарним сервером відповідно до вимог поставленого завдання. При цьому хмарне середовище дозволяє обирати з галереї ОС сімейства Windows Server або Linux з різними конфігураціями та попередньо встановленим ПЗ, що значно скорочує час підготовки обчислювального середовища.

Окремим напрямом розширення функціональності компоненти Compute є підтримка мобільних сервісів, які забезпечують розробку та функціонування додатків для мобільних пристроїв із використанням можливостей хмарної платформи MWA. Це дозволяє реалізувати серверну частину мобільних додатків

у хмарі, забезпечуючи їх масштабованість, доступність і ефективну взаємодію з клієнтськими пристроями.

Компонента Data Services (сервіси даних) призначена для забезпечення збереження, обробки, модифікації та формування звітності на основі даних у хмарному середовищі. Її функціональні можливості охоплюють підтримку сховищ для бінарних і текстових даних, повідомлень, а також структурованих і реляційних даних, що дозволяє реалізувати різні підходи до організації зберігання інформації залежно від вимог прикладних систем (рис. 2.1) [16].

Зокрема, тут передбачено використання сховищ великих бінарних об'єктів (Blobs), які забезпечують збереження неструктурованих текстових або бінарних даних, таких як відео-, аудіофайли та графічні зображення. Для роботи з великими обсягами неструктурованих і нереляційних даних реалізовано підтримку табличних сховищ (Tables), що відповідають концепції NoSQL (не реляційних даних) та які орієнтовані на масштабовану обробку даних без дотримання жорсткої схеми цього процесу.

Окреме місце в компоненті Data Services займають хмарні БД SQL (SQL Database), які призначені для зберігання значних обсягів реляційних даних і забезпечують сумісність із традиційними технологіями SQL. Додатково можливе використання механізму SQL Data Sync, що дозволяє організувати регулярну синхронізацію даних між хмарними екземплярами SQL Database, а також між хмарними та локальними БД SQL Server.

Для формування аналітичної звітності платформа надає web-сервіс SQL Reporting, який є хмарною реалізацією технологій генерації звітів SQL Server. Цей web-сервіс дозволяє інтегрувати функціональність створення звітів безпосередньо в додатки MWA, при цьому генерація звітів здійснюється у хмарному середовищі, що усуває необхідність розробнику здійснювати розгортання власної інфраструктури звітності.

Також в рамках Data Services функціонує web-сервіс HDInsight, який заснований на використанні платформи Apache Hadoop. Ця платформа забезпечує паралельну обробку великих обсягів даних, а завдяки інтеграції з такими інструментами, як Microsoft Office та System Center – спрощує роботу з технологіями аналізу великих даних і підвищує ефективність їх практичного використання.

Компонента «Мережні сервіси» платформи MWA призначена для забезпечення мережної взаємодії та маршрутизації даних у хмарному середовищі на рівнях протоколів стека TCP/IP, а також служби доменних імен DNS, що відповідає за перетворення доменних імен у відповідні IP-адреси. Можливості цієї компоненти забезпечують організацію надійних і безпечних мережних з'єднань між локальною інфраструктурою користувача та хмарними ресурсами (рис. 2.1) [16].

Зокрема web-сервіс Connect (з'єднання) надає можливості конфігурації захищених IP-з'єднань між мережними вузлами або віртуальними машинами клієнта та додатками, що функціонують у середовищі хмарної інфраструктури MWA. Це дозволяє забезпечити безпечний обмін даними між локальними та хмарними обчислювальними ресурсами.

Для побудови VPN у хмарному середовищі використовується web-сервіс Virtual Network, який забезпечує організацію VPN-з'єднань між MWA та локальною IT-інфраструктурою клієнта. Застосування цього сервісу дає змогу використовувати хмарну платформу як віддалену філію корпоративної мережі або як захищене приватне мережне середовище в хмарі.

Балансування вхідного мережного трафіку між розподіленими сервісами, доступними через мережу Інтернет, реалізується за допомогою web-сервісу Traffic Manager. Цей web-сервіс використовує політики маршрутизації, що ґрунтуються на механізмах DNS. Це дозволяє підвищити доступність, відмовостійкість і продуктивність хмарних додатків.

Компонента App Services (Сервіси керування додатками) призначена для забезпечення централізованого управління життєвим циклом хмарних додатків та надає комплекс функціональних засобів для організації доступу, підвищення продуктивності, обміну повідомленнями, керування виконанням процесів і обробки мультимедійного контенту (рис. 2.1) [16].

Однією із ключових можливостей, що надається цією компонентою є управління доступом і аутентифікацією користувачів, який реалізується на основі web-сервісу Windows Azure Active Directory. Цей сервіс забезпечує засоби ідентифікації користувачів у хмарних додатках та дозволяє централізовано керувати обліковими записами і правами доступу. У його межах використовується хмарний сервіс управління доступом (Access Control Service), що забезпечує механізми аутентифікації та авторизації користувачів для надання їм доступу до хмарних додатків і сервісів, виносячи відповідні перевірки за межі

програмного коду. Програмний доступ до ресурсів Active Directory реалізується за допомогою бібліотеки Graph API, яка підтримує взаємодію за стандартом REST. Для клієнтських і серверних додатків передбачено використання бібліотеки аутентифікації (Authentication Library), що дозволяє здійснювати автентифікацію користувачів через Active Directory або сторонніх провайдерів, отримувати маркери доступу та використовувати їх для захищених викликів необхідних алгоритмів, а також перевіряти вхідні маркери з метою захисту ресурсів сервісів.

Важливою складовою компоненти App Services є наявність групи web-сервісів управління продуктивністю додатків (Performance, див. рис. 2.1), що орієнтовані на ефективну роботу з великими обсягами даних. Для цього реалізовано механізми кешування (Caching), які дозволяють організувати тимчасове збереження даних у хмарному середовищі з метою зменшення навантаження на серверні джерела та підвищення швидкодії додатків. Зокрема, підтримуються типові сценарії кешування стану сеансу та результатів виведення в додатках ASP.NET. Окрім цього, використовуються сервіси мережі доставки контенту (Content Delivery Network, CDN), які забезпечують кешування великих бінарних об'єктів MWA і статичного контенту в географічно розподілених точках доступу, що сприяє мінімізації затримок і підвищенню швидкості надання контенту кінцевим користувачам.

Для організації взаємодії між розподіленими додатками платформа надає web-сервіси управління повідомленнями (Messaging), які забезпечують надійний асинхронний обмін даними. Повідомлення зберігаються в чергах різних типів, зокрема у чергах збереження в пам'яті (Storage Queues), що дозволяють реалізувати гарантований обмін повідомленнями між окремими ярусами додатків, які виконуються в середовищі MWA. Також використовується шина сервісів (Service Bus), яка реалізує безпечну та доступну інфраструктуру для комунікації сервісів, підтримує широкомасштабний розподіл подій, іменування та публікацію сервісів, а також забезпечує інтеграцію за допомогою технологій Windows Communication Foundation (WCF) та викликів за стандартом REST. Використання Service Bus дозволяє реалізувати складні сценарії інтеграції, зокрема з використанням мостів, перетворень даних і механізмів B2B-обміну повідомленнями.

WCF є платформою для розробки сервіс-орієнтованих застосунків. За її допомогою здійснюється обмін даними у вигляді асинхронних повідомлень між різними кінцевими точками служб. Кінцева точка служби може бути розміщена як

у постійно доступній службі на web-сервері IIS (Internet Information Services), так і у межах прикладного додатку. Крім того, кінцева точка може виконувати роль клієнта, який надсилає запити та отримує дані від інших кінцевих точок. Повідомлення, що передаються можуть містити як окремі символи чи слова у форматі XML, так і складні потоки двійкових даних, залежно від потреб конкретного сценарію обміну інформацією.

Окрім зазначених вище можливостей компоненти App Services, у її склад входять також web-сервіси управління плануванням роботи додатків (Workflow Manager), які забезпечують координацію та автоматизацію робочих процесів, а також web-сервіси керування обробкою мультимедійної інформації (Media Services), які призначені для управління зберіганням, обробкою та доставкою мультимедійного контенту в хмарному середовищі [16].

2.2 Архітектурна організація хмарної технології AWS

Архітектурна організація хмарної технології AWS показана на рис. 2.2.

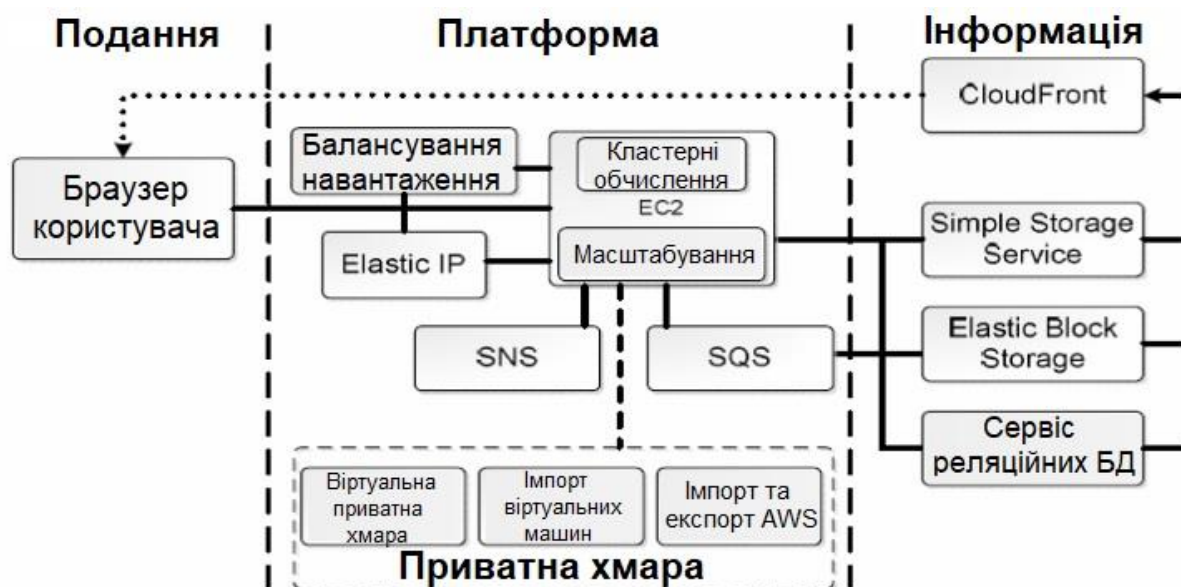


Рисунок 2.2 – Архітектурна організація хмарної технології AWS

Оснoву хмарної платформи AWS становить сервісна система Amazon EC2 у поєднанні із сервісами зберігання даних. Web-сервіс EC2 (Elastic Compute Cloud – еластична обчислювальна хмара) функціонує як універсальне обчислювальне

середовище хмарної інфраструктури та забезпечує користувачам доступ до засобів управління ресурсами через web-інтерфейс. Це дозволяє здійснювати розгортання та адміністрування одного або кількох екземплярів ОС відповідно до потреб користувача. Користувачі мають можливість завантажувати власні обчислювальні середовища з попередньо налаштованими прикладними застосунками, а також здійснювати конфігурацію параметрів мережного доступу та політик безпеки. Кількість розгорнутих екземплярів не обмежується жорсткими рамками та визначається вимогами до продуктивності і масштабованості. Для використання сервісу EC2 користувачами необхідним початковим етапом є створення образу VM (Amazon Machine Image, AMI). AMI може бути сформований на базі практично будь-якої ОС та підтримувати роботу з різними програмними середовищами, зокрема такими як MySQL або Oracle Database. Образ містить сукупність прикладних програм, бібліотек, даних і конфігураційних параметрів, які використовуються у віртуальному обчислювальному середовищі. Крім того, EC2 надає доступ до попередньо налаштованих AMI, що були створені на основі типових шаблонів, які потрібні для реалізації можливості швидкого запуску. Перед початком використання AMI користувачі мають виконати налаштування параметрів безпеки та мережного доступу за допомогою web-інтерфейсу сервісу EC2 [8, 17].

Окрім надання обчислювальних ресурсів і сервісів у вигляді VM, хмарна технологія компанії Amazon реалізує низку web-сервісів для здійснення зберігання та розповсюдження даних у хмарному середовищі, таких як [17]:

- web-сервіс Amazon S3 (Simple Storage Service - проста служба зберігання) є веборієнтованою службою, що забезпечує зберігання та доступ до довільних обсягів даних через мережу Інтернет незалежно від часу та географічного розташування користувача. Цей сервіс надає розробникам масштабовану, надійну та економічно ефективну інфраструктуру для організації власних глобально-розподілених web-ресурсів. Зокрема сервери, що підтримують інфраструктуру сервісу S3, розміщені у Європі, США і Азії та підтримують роботу з даними, що мають розмір від 1 байта до 5 Тбайт;

- для задач блочного зберігання даних використовується web-сервіс еластичного блокового сховища Amazon (Elastic Block Storage, EBS), який надає високопродуктивне віртуальне дискове сховище обсягом від 1 Гбайту до 1 Тбайту. Це сховище може бути підключене до будь-якої AMI, що функціонує в

середовищі Amazon EC2, або може бути розміщеним у системі S3 для тривалого зберігання даних;

- AWS надає механізми керування реляційними БД, які реалізовані у вигляді web-сервісів для розгортання, адміністрування та масштабування СУБД у хмарному середовищі. На даний момент підтримується робота з реляційними БД на основі MySQL та Oracle Database.

- для ефективного поширення контенту використовується web-сервіс Amazon CloudFront, який забезпечує доставку даних кінцевим користувачам із мінімальною затримкою та високою швидкістю передачі. CloudFront автоматично маршрутизує запити до найближчого географічно розташованого граничного сервера, що дозволяє оптимізувати продуктивність доступу до контенту. У процесі обробки запиту граничний сервер взаємодіє з оригінальним сервером, на якому розміщений застосунок, після чого отримані дані передаються користувачеві. Завдяки розподіленій інфраструктурі сервіс забезпечує мінімальний час надання інформації шляхом вибору найбільш наближеного до користувача вузла мережі.

Однією з характерних особливостей хмарної платформи AWS є наявність сервісів інтеграції прикладних систем, які забезпечують прозору адресацію компонентів та їхню доступність у розподіленому хмарному середовищі. Зокрема [17]:

- web-сервіс Elastic IP надає можливість зв'язати статичну IP-адресу і обліковий запис будь-якого користувача. У разі виникнення збоїв або відмов окремих VM система автоматично виконує перепризначення IP-адреси іншому доступному екземпляру VM, що підвищує відмовостійкість та безперервність роботи сервісів.

- web-сервіс Amazon SQS (Simple Queue Service - проста служба черги) призначений для організації черг повідомлень і забезпечує їх надійне зберігання та передачу між компонентами розподілених застосунків. Цей сервіс підтримує практично необмежену кількість черг, що дозволяє ефективно обмінюватися даними між модулями, які виконують різні функції, без ризику втрати повідомлень. Amazon SQS характеризується високим рівнем масштабованості та надійності, надаючи авторизованим програмам можливість реєстрації в черзі, а також надсилання, отримання та видалення повідомлень. Неприйняті повідомлення можуть зберігатися в системі протягом обмеженого часу, що

дозволяє компонентам застосунків функціонувати асинхронно та незалежно від мережного середовища, технологічної платформи або часу виконання;

- для реалізації механізмів сповіщення використовується web-сервіс Amazon SNS (Simple Notification Service – проста служба сповіщень), який забезпечує передачу повідомлень про зміну стану підписок або подій. Користувачі, хмарні застосунки та пристрої можуть надсилати та отримувати сповіщення безпосередньо з хмарної інфраструктури, що спрощує реалізацію подієво-орієнтованих архітектур та підвищує оперативність взаємодії між компонентами системи.

Для корпоративних користувачів хмарна платформа AWS надає можливості створення віртуальних приватних хмар (див. рисунок 2.1), які розширюють функціональність та інтеграційні можливості корпоративних обчислювальних інфраструктур. У межах даного підходу здійснюється організація VPN, що забезпечують захищений і прозорий обмін даними між внутрішньою корпоративною мережею та хмарним обчислювальним середовищем Amazon EC2. Платформа підтримує імпорт корпоративних віртуальних машин, а також можливість їх перенесення за допомогою фізичних носіїв без використання мережі Інтернет, що сприяє підвищенню рівня надійності та безпеки передачі даних [17].

Крім того, AWS надає можливості щодо імпорту та експорту web-сервісів, що створює високий рівень гнучкості під час проектування, розробки та впровадження хмарних сервісів і застосунків. Найбільш активними користувачами платформи стають великі організації та проекти, для яких критичними є вимоги до масштабованості, надійності та адаптивності архітектури. Водночас потрібно зауважити, що для окремих розробників або застосунків, що мають обмеження щодо масштабування та ресурсів, використання хмарної технології AWS може стати надмірно складним і ресурсоємним рішенням [17].

2.3 Архітектурна організація хмарної технології

Хмарна технологія на основі платформи GAE є сервісом для хостингу web-сайтів і застосунків, що базується на серверній інфраструктурі компанії Google. GAE має низку принципових відмінностей порівняно із іншими хмарними

рішеннями, зокрема вона не передбачає безпосереднього виділення користувачеві апаратних або віртуалізованих ресурсів.

Розгортання застосунків у цьому середовищі здійснюється шляхом їх безпосереднього завантаження на платформу та може виконуватися безкоштовно в межах встановлених у хмарній інфраструктурі обмежень. Тобто використання обчислювальних ресурсів, сховищ даних і мережної пропускної здатності регламентується певними лімітами. У разі необхідності додаткові ресурси, зокрема процесорний час, збільшення об'єму зберігання даних та пропускну здатність каналу Інтернет, можна отримати на платній основі, аналогічно до механізмів, що застосовуються і в інших хмарних технологіях [18].

Архітектурна організація хмарної технології GAE показана на рис. 2.3.

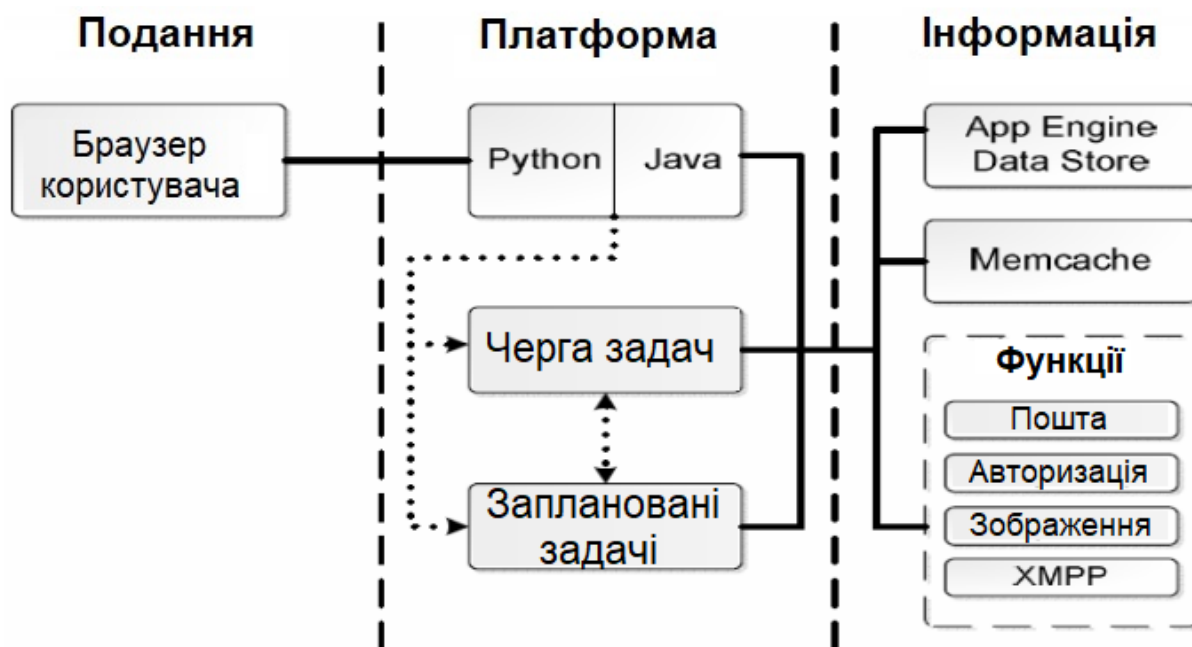


Рисунок 2.3 – Архітектурна організація хмарної технології GAE

Хмарна платформа GAE надає стабільне та надійне середовище для розробки прикладних web-застосунків із підтримкою мови Python. Крім того, в ній реалізована підтримку всіх мов програмування, виконання яких можливе у середовищі VM, зокрема Java, Jython, Scala та інші. Механізми керування користувачами є інтегрованими з Google-платформою, що забезпечує централізовану автентифікацію та авторизацію. Доступ користувача до хмарного застосунку здійснюється через звичайний браузер, при цьому вхід до системи виконується з використанням облікових даних, що є аналогічними тим, що

застосовуються для доступу до сервісу Gmail. Платформа також надає прикладний програмний інтерфейс (Application Programming Interface, API) для забезпечення зберігання структурованих даних. Процеси збереження та отримання інформації за своїми принципами подібні до роботи з реляційними базами даних, однак відповідна технологія, що застосовується у хмарному середовищі, є власною розробкою Google та базується на розподіленій файльовій системі Google GFS. Окрім цього, розробникам, які використовують хмарну технологію GAE, надається набір засобів розробки (SDK), що забезпечує повноцінну емуляцію функціонування платформи в локальному середовищі [17].

Платформа GAE надає розширений набір бібліотечних функцій, що є призначеними для виконання типових прикладних операцій у хмарному середовищі (порядку 35 функцій). Зазначені функції охоплюють підтримку сервісів електронної пошти, механізмів автентифікації та авторизації користувачів, обробки мультимедійних даних, зокрема зображень, а також завантаження та аналізу різних web-ресурсів. Крім того, GAE забезпечує інструментарій для здійснення планування та керування задачами, виконання розподілених обчислень на основі моделі MapReduce, зберігання великих обсягів інформації та організації обміну повідомленнями з використанням протоколу XMPP. Сукупність цих засобів дозволяє спростити розроблення масштабованих і високопродуктивних web-застосунків [17].

Платформа GAE надає можливість здійснювати розгортання високопродуктивних сервісів без необхідності робити значні витрати на створення та підтримку власної інфраструктури. Функціональність платформи реалізується за рахунок набору базових сервісів, що забезпечують виконання, зберігання та обробку даних у хмарному середовищі [17, 19].

Одним з основних сервісів платформи є App Engine Data Store, який являє собою високорозподілену систему, що забезпечує зберігання даних, та побудований на основі бази даних BigTable, яка створена компанією Google. Підхід до роботи з цим сховищем істотно відрізняється від традиційних реляційних баз даних, оскільки у Data Store відсутня фіксована схема даних. Інформація зберігається у вигляді наборів «ключ-значення-мітка часу». Це означає, що розробник повністю відповідає за те, щоб дані, які зберігаються, відповідали логіці роботи застосунку. Для забезпечення узгодженості даних набір SDK пропонує до використання спеціалізовані бібліотеки. Крім того, компанією Google було розроблено власну

мову запитів (GQL), синтаксис якої подібний до оператора SELECT мови SQL, однак має низку функціональних обмежень [17, 19].

Виконання додатків у середовищі GAE здійснюється в межах так званої «пісочниці», тобто VM, що має обмежений доступ до локальних ресурсів. Це зумовлює певні обмеження. Зокрема, значно скорочено перелік мережних протоколів і портів, що підтримуються, через які додаток може взаємодіяти із зовнішніми системами. По факту дозволено використання лише протоколів HTTP та HTTPS. Також накладені обмеження на роботу з локальною файловою системою, оскільки дозволяється лише здійснювати читання файлів, що були завантажені разом із програмним кодом додатку [17].

До складу екосистеми сервісів Google входить також Google Docs, який являє собою безкоштовний онлайн пакет для офісу по типу Microsoft 365. Зокрема він включає текстовий редактор, табличний процесор, засоби створення презентацій, а також сервіс зберігання файлів у хмарі із функціями спільного доступу і колективної роботи з документами [19].

Ще одним важливим сервісом є Google Cloud Storage, який є сервісом файлового хостингу, що реалізований відповідно до моделі *IaaS*. Усі файли, що зберігаються або оновлюються на серверах сервісу, автоматично шифруються з використанням алгоритму AES-128. За своїм функціональним призначенням Google Cloud Storage є конкурентом сервісу Amazon S3 [19].

2.4 Порівняння хмарних платформ MWA, AWS та GAE

На підстав проведеного аналізу вищеописаних найбільш поширених платформ побудови хмарних технологій від компаній Microsoft, Amazon та Google, можна бачити, що кожна з них характеризується власними особливостями та перевагами. З метою систематизації результатів дослідження виконано їх порівняння за низкою ключових аспектів реалізації. Узагальнена порівняльна характеристика зазначених платформ подана у вигляді таблиці на рисунку 2.4.

Аналіз наведених характеристик дає змогу користувачам, які планують подальшу діяльність із використанням хмарних середовищ, здійснювати більш обґрунтований та надійний вибір відповідної платформи ХО з урахуванням таких чинників, як: протоколи та інтерфейси, що підтримуються, рівень сумісності,

особливості реалізації і розгортання, а також можливості подальшого масштабування та розвитку.

Платформи	Amazon Web Services	Google App Engine	Microsoft Windows Azure
Характеристики			
Тип	IaaS	PaaS	PaaS
Сервіси, що розробляються	Обчислювальні сервіси, сервіси зберігання	Web-додатки	Web-додатки та не Web-додатки
Віртуалізація	Рівні ОС, із запуском гіпервізором Xen	Контейнер додатків	Рівні ОС
Інтерфейс доступу користувача	Утіліти консолі Amazon EC2	Web-консоль адміністрування	Портал Microsoft Windows Azure
Web APIs	Так	Так	Так
Середовище розробки	Відсутнє	Python, Java	Microsoft .NET

Рисунок 2.4 – Узагальнена порівняльна характеристика хмарних платформ MWA, AWS та GAE

Водночас потрібно звернути увагу на те, що, незважаючи на наявність переваг у кожній з розглянутих платформ, низка проблем буде залишатися актуальною незалежно від обраного рішення. Зокрема, питання реалізації механізмів відмовостійкості у кластерному середовищі, забезпечення узгодженості та синхронізації даних між різними кластерами, стандартизації підходів, а також гарантування безпеки хмарної платформи і даних в процесі їх передачі – потребують постійного індивідуального опрацювання. Розв'язання зазначених проблем, як правило, здійснюється на етапі безпосереднього проектування та розгортання конкретної інфраструктури тієї або іншої хмарної технології.

3 ПІДХОДИ ЩОДО ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

3.1 Визначення факторів і показників ефективності, що їх описують, щодо оцінки ефективності хмарних технологій

На основі проведеного аналізу особливостей і архітектурних рішень ХТ можна запропонувати ряд факторів, які застосовуються для здійснення оцінки їх ефективності.

Зокрема, до основних переваг ХТ найчастіше відносять економічні фактори, включно із зниженням витрат на організацію ЦОД та їх технічне обслуговування, на організацію власної інформаційної інфраструктури (канали зв'язку), а також на утримання обслуговуючого персоналу. Ці фактори будуть характеризувати економічний ефект від впровадження ХТ. При проведенні оцінки економічності ХТ можуть бути використані наступні показники ефективності [2, 6]:

- витрати на впровадження ХТ;
- економія коштів, тобто скорочення капітальних і операційних витрат у разі використання хмарних сервісів;
- вигідність використання ХТ у порівнянні з організацією власного корпоративного ЦОД.

Також в ІТ-технологіях дуже важливо враховувати фактори забезпечення інформаційної безпеки. Це особливо актуально для хмарних ресурсів, які надаються дистанційно широкому колу користувачів. Зокрема, це обумовлює необхідність розмежування прав користувачів, ізоляції даних і програмних продуктів, захисту засобів управління віртуальною інфраструктурою та інших заходів захисту інформації. Крім того, застосування технології ХО породжує нові загрози інформаційній безпеці і вимагає істотної зміни підходів і принципів забезпечення захисту інформації. Для проведення оцінки факторів інформаційної безпеки хмарної інфраструктури можна скористатися наступними показниками ефективності [2, 6]:

- криптографічний захист даних;
- автентифікація користувачів;
- розмежування прав користувачів;
- антивірусний захист.

При здійсненні оцінки ефективності хмарних технологій також необхідно враховувати людський фактор. Цей фактор є дуже важливим, оскільки ХТ є відносно новими, а будь-які зміни можуть не сприйматися частиною персоналу у зв'язку з тим, що люди з підозрою у більшості випадків ставляться до всіх нововведень, що змінюють звичний спосіб життя. Крім того, створюється додаткове навантаження на співробітників, яким необхідно вивчити і освоїти нові підходи, що пов'язані із забезпеченням функціонування та підтримки технології. Для проведення оцінки ефективності в аспекті людського фактору можуть бути використані такі показники, як [2, 6]:

- готовність співробітників до впровадження нових технологій;
- рівень підготовки співробітників в частині новітніх інформаційних технологій;
- здатність співробітників до процесу навчання;
- рівень мотивації співробітників.

Ще одним напрямком оцінки ефективності є так званий фактор рівня ризику, який дозволяє враховувати ступінь використання провайдером нормативно-правових документів в області ХО. Крім того, цей фактор аналогічним чином дозволяє врахувати реакцію постачальника послуг на несправності, порядок відновлення даних, тощо. Це обумовлено тим, що питання правового регулювання застосування ХТ на даний час є недостатньо розвиненими. За фактором рівня ризику у разі визначення, наприклад, ефективності розгортання та функціонування ХТ, необхідно врахувати наступні його складові [2, 6]:

- нормативно-правові питання, що характеризують ступінь дотримання провайдером законів і правил у сфері ХТ;
- реагування провайдера на події та несправності;
- сумісність ХТ з наявною інфраструктурою;
- можливості відновлення даних та їх конфіденційності.

Поряд із зазначеними вище узагальненими факторами, які враховують загальні питання забезпечення ефективності розгортання та функціонування ХТ в цілому, доцільно також використовувати і традиційні показники, які застосовуються при здійсненні оцінки ефективності інформаційних систем і технологій. Зокрема, сюди, перш за все, слід віднести різноманітні технічні та технологічні фактори, що враховують основні характеристики та можливості ХТ, що надаються користувачеві (швидкість, продуктивність, середовище роботи

додатків, зручність інтерфейсу тощо). Частину показників можна визначити і застосувати на основі аналізу науково-технічної літератури, ресурсів мережі Інтернет, інформації мережних і сервіс-провайдерів, а також інших інформаційних джерел, в яких описуються і аналізуються практичні аспекти розгортання і використання хмарних технологій [2, 6].

До показників ефективності, що характеризують технічний фактор функціонування ХТ, можна віднести [2, 6]:

- рівень надійності, який можна визначити на основі угоди SLA між постачальником послуг і клієнтом;
- швидкість обміну інформацією, що надається користувачам;
- масштабованість, тобто можливість підключення додаткових ресурсів;
- наявність додаткового фізичного або віртуального простору для зберігання інформації;
- можливості щодо здійснення резервного копіювання інформації.

Відповідно, показники ефективності, що характеризують технологічні фактори функціонування ХО, можуть бути, наприклад, такими:

- можливості для інтеграції застосунків;
- розвиток середовища функціонування застосунків (ОС, БД);
- розвиток системи моніторингу, що дозволяє оцінювати доступність і стабільність роботи ХТ;
- зручність інтерфейсу користувача, що пропонується хмарною інфраструктурою.

Слід зазначити, що залежно від видів хмарних ресурсів і обраної моделі обслуговування можуть бути запропоновані також і інші показники ефективності.

3.2 Аналітичний та методологічний підходи щодо визначення показників ефективності ХТ

Для здійснення визначення загального показника ефективності хмарних технологій використовується аналітичний вираз у вигляді формули, що має вигляд середньозваженої суми узагальнених показників ефективності окремих її аспектів (факторів), які були розглянуті вище [6]:

$$E_{\text{заг}} = \alpha_1 E_{\text{техн}} + \alpha_2 E_{\text{технол}} + \alpha_3 E_{\text{екон}} + \alpha_4 E_{\text{ризик}} + \alpha_5 E_{\text{безп}} + \alpha_6 E_{\text{люд}}, \quad (3.1)$$

де α_i та E_i – вагові коефіцієнти показників ефективності різних факторів, зокрема:

- α_1 і $E_{\text{техн}}$ – вагові коефіцієнти показників ефективності технічного фактору;

- α_2 і $E_{\text{технол}}$ – вагові коефіцієнти показників ефективності технологічного фактору;

- α_3 і $E_{\text{екон}}$ – вагові коефіцієнти показників ефективності економічного фактору;

- α_4 і $E_{\text{ризик}}$ – вагові коефіцієнти показників ефективності, що враховують фактор рівня ризику;

- α_5 і $E_{\text{безп}}$ – вагові коефіцієнти показників ефективності фактору інформаційної безпеки;

- α_6 і $E_{\text{люд}}$ – вагові коефіцієнти показників ефективності, що враховують людський фактор.

Узагальнені показники ефективності для факторів, що входять у склад формули (3.1), визначаються шляхом адитивної згортки показників ефективності окремих елементів системи K_{ij} , що були обрані (або визначені) для кожного із наведених факторів [6]:

$$E_i = \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_{ij} K_{ji}, \quad (3.2)$$

де E_i – узагальнений показник ефективності i -го фактору;

n_i – чкількість показників ефективності для i -го фактору;

α_{ji} – вагові коефіцієнти відповідних показників ефективності, $0 \leq \alpha_{ji} \leq 1$,

$$\sum_{j=1}^{n_i} \alpha_{ji} = 1;$$

K_{ij} – показники ефективності окремих елементів системи.

Для проведення визначення узагальненого показника ефективності, що характеризує фактор інформаційної безпеки використовується мультиплікативна згортка [6]:

$$E_{\text{безп}} = \prod_{j=1}^{n_i} K_{ji}^{\alpha_{ji}}. \quad (3.3)$$

Застосування мультиплікативної моделі обумовлено тим, що занижкі оцінки навіть по одному із показників, що розглядаються, в даному випадку є недопустимими. Використання адитивної згортки є тут недоцільним, оскільки конкретні показники ефективності, що характеризують той чи інший фактор, не передбачають взаємної компенсації.

Для вибору конкретних показників ефективності, які є складовими для кожного з факторів, використовуються так звані експертні оцінки. Експертні оцінки являють собою формалізовані висновки кваліфікованих фахівців у відповідних предметних областях, що є вираженими у якісному або кількісному поданні. Формування якісного та кількісного складу експертної групи слід здійснювати з урахуванням комплексності проблеми, що розглядається, а також вимог до достовірності результатів та рівня професійної компетентності експертів.

Показники ефективності, що використовуються для опису впливу технічного фактору на хмарну інфраструктуру, визначаються таким чином [6]:

– ступінь надійності, що прописується в договорі SLA (як правило, вона становить понад 99 %);

– параметри швидкості обміну даними, рівень масштабованості, обсяг додаткового фізичного або віртуального простору для зберігання інформації та наявність можливостей щодо здійснення резервного копіювання можна визначити як відношення значення, що пропонується постачальником послуг ($N_{\text{пп}}$), до встановленого значення ($N_{\text{встан}}$) [6]:

$$E_{\text{техн}} = \frac{N_{\text{пп}}}{N_{\text{встан}}}. \quad (3.4)$$

Показники ефективності, що характеризують технічний, технологічний, економічний і людський фактори, а також рівень ризику, визначаються з використанням експертних оцінок за десятибальною шкалою з подальшою нормалізацією значень в інтервалі від 0 до 1.

При оцінці економічної ефективності витрати на впровадження хмарної технології та величина економії коштів розраховуються для конкретного варіанту реалізації хмарної інфраструктури. Вигідність застосування хмарних технологій можна визначити на основі виразу, що наведений в [6]:

$$t_{\text{ХТ}}(T_r - P_{\text{год.ХТ}}) \geq t_{\text{ЦОД}} \left(T_r - \frac{P_{\text{год.ЦОД}}}{U} \right), \quad (3.5)$$

де $t_{\text{ХТ}}$ – години, що були використані хмарною технологією;

T_r – дохід;

$t_{\text{ЦОД}}$ – години, що були використані хмарним ЦОД;

$P_{\text{год.ХТ}}$ – вартість однієї години ХТ;

$P_{\text{год.ЦОД}}$ – вартість однієї години хмарного ЦОД;

U – середнє завантаження ЦОД.

Значення показників ефективності, що були отримані, перетворюються в бальні оцінки за десятибальною шкалою з подальшою нормалізацією в діапазоні від 0 до 1.

Вагові коефіцієнти встановлюються на основі експертних оцінок, у тому числі для цього задіюються різні математичні методи, зокрема метод попарних порівнянь та аналогічні [2, 6].

В рамках описаного аналітичного підходу щодо проведення оцінки ефективності ХТ пропонуються наступні узагальнені рекомендації для його подальшої реалізації в рамках методологічного підходу щодо визначення та оцінки показників ефективності [2, 6]:

- на першому етапі проводиться збір вихідної інформації, що включає дані, які характеризують всі раніше виділені групи факторів, що описують всебічне функціонування ХТ;

- далі, на другому етапі, формується експертна група;

- на третьому етапі експертами визначається система показників ефективності за десятибальною шкалою з подальшим нормуванням щодо максимального значення. В результаті нормовані показники приймають значення в діапазоні від 0 до 1. Додатково оцінка може розраховуватися як відношення фактичного значення показника до необхідного відповідно до виразу (3.4). Доцільність застосування ХТ визначається із виразу (3.5);

- на четвертому етапі експертним шляхом встановлюються вагові коефіцієнти показників ефективності з використанням методу попарних порівнянь. Значення вагових коефіцієнтів будуть знаходитися в інтервалі від 0 до 1, при цьому їх сума по кожному фактору дорівнює одиниці;

- на п'ятому етапі виконується оцінка показника ефективності відповідного фактору, в залежності від аналітичного підходу на основі формул (3.2) або (3.3), який до нього застосовується;

- на шостому етапі експертним способом визначаються вагові коефіцієнти показників ефективності відповідного фактору. Призначення вагових коефіцієнтів робиться за аналогічними правилами, що і на четвертому етапі;

- на сьомому етапі проводиться оцінка загального показника ефективності ХТ з використанням виразу (3.1);

- на восьмому етапі, проводячи аналіз отриманих результатів, здійснюється вибір найкращого варіанту з них, або створюються рекомендації щодо поліпшення характеристик ХТ, що аналізуються.

ВИСНОВКИ

Впровадження та застосування хмарних технологій вимагає проведення об'єктивної та комплексної оцінки їх ефективності з урахуванням сукупності факторів, що відображають різні підходи до проектування, функціонування, захисту хмарних ресурсів, тощо. Відповідно до цього в рамках цієї магістерської кваліфікаційної роботи було зроблено аналіз узагальнених аналітичних і методологічних підходів щодо оцінки ефективності хмарних систем, як з позиції визначення інтегральної (загальної) ефективності системи в цілому, так і з точки зору оцінки окремих її факторів і компонентів, що формують функціональні характеристики хмарної інфраструктури. Аналіз базується на використанні системи показників ефективності, що дозволило обґрунтувати доцільність застосування обраних підходів та виявити їх ключові особливості та обмеження.

У першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи здійснено аналіз загальних особливостей організації хмарних обчислень, а також розглянуто основні моделі їх розгортання та обслуговування. Показано, що хмарний підхід забезпечує динамічне надання обчислювальних ресурсів і сервісів, за якого користувачі мають можливість гнучко змінювати обсяги споживаних ресурсів відповідно до поточних потреб, уникати довгострокових зобов'язань і робити оплату за фактично використані послуги. Залежно від способу розгортання хмарні середовища поділяються на приватні, публічні та гібридні, спільне використання яких розширює можливості доступу до різноманітних обчислювальних ресурсів, web-сервісів застосунків, а також сховищ даних [1, 8, 10].

Встановлено, що ключовими характеристиками ХО є масштабованість і віртуалізація. Масштабованість визначає здатність системи динамічно адаптувати інформаційні ресурси до навантаження, що постійно змінюється, тоді як віртуалізація забезпечує абстрагування обчислювальних ресурсів і надання користувачеві можливостей щодо зручного і логічного подання йому сервісів без необхідності врахування їх внутрішньої реалізації [11].

Також у цьому розділі проаналізовано функціональну структуру хмарних технологій, що включає користувацький рівень (front-end), який забезпечує взаємодію користувача з хмарними сервісами, та внутрішній рівень (back-end), відповідальний за обробку даних, керування ресурсами, зберігання інформації і підтримку функціональності хмарної інфраструктури [11]. У результаті аналізу

моделей обслуговування встановлено, що в хмарній інфраструктурі реалізуються три основні базові моделі: інфраструктура як сервіс (IaaS), що надає доступ до віртуалізованих обчислювальних ресурсів; платформа як сервіс (PaaS), яка орієнтована на підтримку розробки та розгортання прикладних рішень; і програмне забезпечення як сервіс (SaaS), що забезпечує користувачам доступ до готових програмних продуктів у вигляді web-сервісів та застосунків через мережу Інтернет.

З метою дослідження архітектурно-функціональних рішень сучасних платформ ХТ та проведення виконання їх порівняльного аналізу у другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи були проаналізовані найбільш поширені платформи провідних світових постачальників хмарних сервісів, зокрема Microsoft, Amazon та Google. Зокрема було проаналізовано спектр реалізованих на цих платформах хмарних web-сервісів, послуг і прикладних застосунків, а також їх функціональні можливості, особливості використання та основні напрями практичного застосування [11 - 14].

Результати проведеного аналізу свідчать, що ключовим призначенням сучасних платформ ХО є надання користувачам віддаленого, динамічно масштабованого доступу до обчислювальних ресурсів, сервісів і застосунків по каналах мережі Інтернет. При цьому отримання необхідних ресурсів і сервісів здійснюється за запитом через web-інтерфейси без потреби у глибокому професійному розумінні внутрішньої реалізації систем і виконанні функцій системного адміністрування. У розділі також звертається увага на те, що надання хмарних сервісів, як правило, супроводжується укладанням угод про рівень сервісу (SLA), у яких визначаються гарантовані показники якості та доступності послуг. У зв'язку з цим обґрунтовано необхідність попередньої оцінки ефективності використання хмарних платформ на функціональному рівні, з урахуванням економічних аспектів, аспектів, пов'язаних з використанням ресурсів і сервісів, можливостей зберігання даних, а також рівня забезпечення інформаційної безпеки користувачів, та інших [16 - 19].

У третьому, практичному розділі магістерської кваліфікаційної роботи, було здійснено аналіз підходів щодо проведення оцінки показників ефективності ХТ. Для реалізації поставленої задачі сформовано перелік узагальнених факторів, що характеризують ефективність ХТ з урахуванням основних аспектів їх функціонування, які були вище згадані, а також визначено систему показників ефективності, які є складовими кожного з цих факторів. На основі

запропонованих факторів, для кожного з яких розроблено відповідну систему показників, сформовано комплексну методику оцінки ефективності хмарних технологій. Запропонована методика поєднує аналіз сукупності кількісних параметрів функціонування автоматизованих систем із використанням експертних оцінок, що дозволяє врахувати як формалізовані, так і якісні характеристики. Зокрема у процесі аналізу запропонований аналітичний підхід до визначення як загального показника ефективності ХТ, так і узагальнених показників за кожним із виділених факторів. На основі отриманих результатів сформульовано рекомендації щодо практичного застосування запропонованого підходу для подальшої оцінки ефективності хмарних технологій. В межах формулювання цих рекомендацій було розроблено методологічний підхід [2, 6].

Запропонована методика забезпечує можливість здійснення оцінки ефективності ХТ в різних умовах їх застосування, а також визначення впливу показників на загальну ефективність функціонування організаційної системи у цілому. Це надає практичну цінність отриманим результатам та створює підґрунтя для вдосконалення механізмів управління інформаційними системами на основі різних платформ хмарних технологій.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Mell P., Grance T. The NIST Definition of Cloud Computing [Електронний ресурс] / P. Mell, T. Grance // NIST SP 800-145, The NIST Definition of Cloud Computing. U.S. Department of Commerce. – 2011. – 7 с. – Режим доступу: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>.
2. Пойченко Д.П. Аналіз підходів оцінки показників ефективності технологій хмарних обчислень/ Д.П. Пойченко, Ю.М. Колтун // матеріали 13-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації». Том 3. – Баку – Харків – Бельсько-Бяла. – 27 - 28 листопада, 2025 р. – С. 116 - 117. DOI: <https://doi.org/10.32620/PI.25.t3>
3. Лучкевич М. Вплив сучасних хмарних технологій на ефективність DevOps-процесів / Михайло Лучкевич, Ірина Шаклеїна, Олексій Михайлович Дуда // Вісник ТНТУ. – Т.: ТНТУ, 2025. – Том 117. – № 1. – С. 112–122.
4. Naresh K.M. Cloud performance a comparative study of AWS vs Azure [Електронний ресурс] / Naresh Kumar Miryala // International Journal of Computer Engineering and Technology. Volume 15, Issue 2. – 2024. – Р. 208-223. Режим доступу: https://iaeme.com/Home/article_id/IJCET_15_02_024.
5. Kaushik P. Cloud Computing and Comparison based on Service and Performance between Amazon AWS, Microsoft Azure, and Google Cloud [Електронний ресурс] / Prakarsh Kaushik, Ashwin Murali Rao, Devang Pratap Singh, Swati Vashisht, Shubhi Gupta // International Conference on Technological Advancements and Innovations (ICTAI). – 2021. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9673425>. DOI: 10.1109/ICTAI53825.2021.9673425.
6. Зацарінний О.А. Деякі аспекти оцінки ефективності хмарних технологій / А.А. Зацарінний, Ю.С. Іоненков, О.П. Сучков // Системи та засоби інформатики – Том 28. – №3. – 2018. – С. 104 - 117.
7. Бунке О.С. Ефективні сценарії використання хмарних технологій на підприємстві [Електронний ресурс] / О.С. Бунке // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – Том 31 (70) Ч. 1. – №6. – 2020. – С. 44 – 49. Режим доступу до ресурсу: https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/6_2020/part_1/10.pdf. DOI HTTPS://DOI.ORG/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/08
8. Клементьев И.П. Введение в облачные вычисления: учеб. курс [Електронний ресурс] / И.П. Клементьев, В.А. Устинов // НОУ «ИНТУИТ». – 2011. – Режим доступу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/673/529/info>.

9. Хмарні сервіси: як вони працюють та чому стали стандартом [Електронний ресурс] // De Novo Cloud Expert. – 2025. Режим доступу: <https://denovo.ua/resources/cloud-services-how-they-work>.

10. Кононюк А.Е. Фундаментальна теорія хмарних технологій. Кн.1. / А.Е. Кононюк – Київ: Освіта України, 2018. – 620 с.

11. Батура Т.В. Хмарні технології: основні моделі, додатки, концепції та тенденції розвитку / Т.В. Батура, Ф.А. Мурзін, Д.Ф. Семич // Програмні продукти та системи. – №3. – 2014. – С. 64 - 72.

12. What Is IaaS? Infrastructure as a Service [Електронний ресурс] // Oracle Cloud Infrastructure (OCI). – 2022. – Режим доступу: <https://www.oracle.com/europe/cloud/what-is-iaas/>.

13. What Is PaaS? [Електронний ресурс] // Oracle Cloud Infrastructure (OCI). – 2022. – Режим доступу: <https://www.oracle.com/europe/cloud/what-is-paas/>.

14. What is SaaS (Software as a Service)? [Електронний ресурс] // Oracle Cloud Infrastructure (OCI). – Доступ здійснено 21.12.2025. – Режим доступу: [https://www.oracle.com/europe/applications/what-is-saas/#:~:text=future%20of%20SaaS-,What%20is%20SaaS%20\(Software%20as%20a%20Service\)?,of%20ownership%20with%20greater%20accuracy](https://www.oracle.com/europe/applications/what-is-saas/#:~:text=future%20of%20SaaS-,What%20is%20SaaS%20(Software%20as%20a%20Service)?,of%20ownership%20with%20greater%20accuracy).

15. Савельев А.О. Введение в облачные решения Microsoft: учеб. курс [Електронний ресурс] / А.О. Савельев // НОУ «ИНТУИТ» – 2011. – Режим доступу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/677/533/info>.

16. Сафонов В.О. Развитие платформы облачных вычислений Microsoft Windows Azure: учеб. курс [Електронний ресурс] / В.О. Сафонов // НОУ «ИНТУИТ» – 2013. – Режим доступу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/11007/1117/info>.

17. Радченко Г.И. Распределенные вычислительные системы / Г.И. Радченко. – Ч.: Фотохудожник, 2012. – 184 с.

18. Що таке Google Cloud? [Електронний ресурс] // Wise IT. – 23.12.2025. – Режим доступу: <https://wiseit.com.ua/shho-take-google-cloud-platform/>.

19. Облачные платформы и сервисы [Електронний ресурс] / Studref - Студенческие реферативные статьи и материалы. – Доступ здійснено 23.12.2025. – Режим доступу: https://studref.com/384489/informatika/oblachnye_platformy_servisy.