

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 519.8

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.2.6>

В. М. ГОРБАЧУК

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України

ORCID: 0000-0001-5619-6979

В. М. БОЛЬШАКОВ

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України

ORCID: 0000-0002-9030-9700

М. М. ПУСТОВОЙТ

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова Національної академії наук України

ORCID: 0000-0002-8039-8180

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
І ТЕХНОЛОГІЙ У ХМАРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Хоча елементи хмарних технологій існують з часів застосування кількох пристроїв для виконання одного завдання, невдалі спроби закріпити відповідний термін юридично були у 1997 р. (NetCentric) та 2007 р. (Dell). Зараз ці технології стали поширеними застосуваннями, які мають багато теоретичних і практичних нюансів. Крім того, ці технології дають найвищу капіталізацію. Інтернет уможливив дистанційне застосування багатьох пристроїв різної складності для різноманітних цілей, що ознаменувало еру хмарних технологій. Сучасне життя важко уявляти без використання хмарних інформаційних технологій та систем. До працюючих програм та програмних інтерфейсів висуваються такі вимоги, які ще на початку тисячоліття були поза увагою як користувачів, так і фахівців. Розвиток Інтернету та поява великих центрів обробки даних сприяли поширенню програмних застосунків, які складаються з кількох взаємодіючих підсистем і копій підсистем, що працюють у різних локаціях. Необхідність постійної та повсюдної доступності, а також потреба в обробці зростаючих обсягів даних і наданні цифрових послуг дедалі більшої кількості користувачів веде до того, що майже кожний додаток стає хмарною системою, а на хмарних технологіях засновують свою діяльність все більше організації. Хмарні системи необхідні для того, щоб забезпечувати рівень стійкості до відмов, гнучкості та еластичності, очікуваний від сучасних комп'ютерних програм. В силу свого розподіленого характеру такі системи при грамотному структуруванні та належним чином спроектованій архітектурі більш надійні та масштабовані. Водночас за ці переваги доводиться платити. Оскільки будувати хмарні системи непросто, то вони, як правило, розробляються за окремими замовленнями. Кожна з них, за великим рахунком, розробляється з нуля, що характерно всім хмарним системам. Використання нових методологій проектування та технологій розробки хмарних систем дозволить задовольняти попит на сучасні, надійні, масштабовані прикладні програмні інтерфейси та сервіси, а також сприятиме створенню нових класів хмарних застосунків і сервісів у майбутньому.

Ключові слова: Інтернет-рішення, хмарне середовище, інфраструктура, віртуальна машина, гіпервізор.

V. M. GORBACHUK

V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID: 0000-0001-5619-6979

V. M. BOLSHAKOV

V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID: 0000-0002-9030-9700

M. M. PUSTOVOIT

V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID: 0000-0002-8039-8180

METHODS AND TOOLS OF CREATING INFORMATION SYSTEMS
AND TECHNOLOGIES IN THE CLOUD ENVIRONMENT

Although elements of cloud technology have existed since the days of using multiple devices to perform a single task, unsuccessful attempts to legally codify the term were in 1997 (NetCentric) and 2007 (Dell). Now these technologies have become common applications that have many theoretical and practical nuances. In addition, these technologies give the highest capitalization. The Internet enabled the remote use of many devices of varying complexity for a variety of purposes, marking the era of cloud technologies. Modern life is hard to imagine without the use of cloud information technologies and systems. There are requirements for working programs and software interfaces that were overlooked by

both users and specialists even at the beginning of the millennium. The development of the Internet and the emergence of large data centers have contributed to the proliferation of software applications that consist of several interacting subsystems and copies of subsystems running in different locations. The need for constant and ubiquitous availability, as well as the need to process growing volumes of data and provide digital services to a growing number of users, leads to the fact that almost every application becomes a cloud system, and more and more organizations base their activities on cloud technologies. Cloud systems are required to provide the level of fault tolerance, flexibility, and resilience expected of today's computing applications. Due to their distributed nature, such systems with competent structuring and properly designed architecture are more reliable and scalable. At the same time, you have to pay for these benefits. Since it is not easy to build cloud systems, they are usually developed on separate orders. Each of them, by and large, is developed from scratch, which is characteristic of all cloud systems. The use of new design methodologies and technologies for the development of cloud systems will satisfy the demand for modern, reliable, scalable application software interfaces and services, and will also contribute to the creation of new classes of cloud applications and services in the future.

Key words: Internet solutions, cloud environment, infrastructure, virtual machine, hypervisor.

Постановка проблеми

У 1990-х роках технічні фахівці почали застосовувати образ хмари для позначення розподіленого обчислювального середовища. Замість того, щоб намагатися фіксувати всі з'єднані деталі та сутності, стали використовувати метафору, яка символізує сукупність пристроїв. Було зручно окреслювати ескіз на дошці чи папері, ілюструючи місце деякого пристрою у мережі, до якої можуть підключатися інші пристрої. Термін «хмара» використовувався як зрозумілий і зручний спосіб абстрактно визначати складну мережу чи високотехнологічне середовище. Проблема полягає у належному розумінні місця хмарних засобів і методів серед традиційних комп'ютерних засобів і методів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Коли обчислення та зберігання даних почали мігрувати від окремих пристроїв до централізованих серверів, стало зручно використовувати концепцію хмари як абстракцію мережевого доступу до цих серверів [1, 2]. Вживання цього терміну виявилось вдалим з погляду маркетингу як загальний спосіб опису різних рішень, що мали спільну рису – застосування Інтернету. Хмара стала поширеним і загальноприйнятим терміном [3]. У 2012 р. експертна робоча група ЕС ввела визначення: «Середовище можна назвати «захмареним» («CLOUDified»), якщо воно дає змогу великій динамічній кількості користувачів отримувати доступ до одних і тих самих типів ресурсів та спільно використовувати їх, відповідно до послуги, за допомогою якої підтримується використання ресурсів та забезпечуються витрати шляхом динамічного реагування на зміни в умовах середовища, таких як навантаження, кількість користувачів, розмір даних тощо» [4].

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження полягає у з'ясуванні походження терміну «хмарні обчислення» і головних ознак хмарних систем, сучасній систематизації засобів і методів, які формують і формуватимуть хмарні середовища.

Викладення основного матеріалу дослідження

Прикладом однієї з перших публічних згадок про хмару є стаття Стівена Леві (народився у 1951 р., здобув наукові ступені бакалавра Університету Темпл (заснованого у 1884 р.) і магістра з літератури Університету штату Пенсільванія (започаткованого у 1855 р.)), опублікована у 1994 р. [5]. Стаття була про компанію General Magic, яку у 1990 р. заснували творці комп'ютера Macintosh (випускається з 1984 р.) Білл Аткинсон (народився у 1951 р., здобув науковий ступінь бакалавра Університету Каліфорнії, Сан-Дієго (заснованого у 1960 р.), був студентом докторської програми з нейрохімії Університету Вашингтона (заснованого у 1861 р.)) та Енді Херцфельд (народився у 1953 р., здобув науковий ступінь бакалавра з комп'ютерних наук Університету Брауна (заснованого у 1764 р. як Коледж Род-Айленд; дістав ім'я Брауна у 1804 р., коли скарбник Коледжу Ніколас Браун (випускник Коледжу 1786 р.) пожертвував Коледжу 5 тис. дол.) і був студентом докторської програми Університету Каліфорнії, Берклі (започаткованого у 1868 р.)). У 1990–1994 рр. Аткинсон і Херцфельд намагалися створити нову амбітну комунікаційну платформу, яка змінить життя кожного: «Різні технології зійдуться в електронній скриньці, що у вас у кишені, що весь час з вами, що вами якимось використовується». Оскільки тоді не існувало «електронної скриньки», яка могла виконувати різноманітні обчислення, то була потреба звертатися до сервера через мережу. Відповідний продукт General Magic називався Telescript, що був інтерфейсом, який люди могли використовувати для зв'язку. Система Telescript об'єднувала різні мережі через один стандартизований інтерфейс: «Тепер, замість того, щоб просто мати пристрій для програмування, у нас є ціла хмара, де одна програма може переміщатися до різних джерел інформації та створювати свого роду віртуальний сервіс» [5]. Цитата включає слово «хмара» і чітко окреслює відповідне поняття, яке вказує на можливість доступу до інформації та функцій з будь-якого пристрою в будь-якому місці. Однак конкретна технологія, запропонована General Magic, не витримала ринкової конкуренції. Незважаючи на те, що Аткинсон і Херцфельд були піонерами в цій галузі, їх компанія General Magic, проіснувавши 12 років, припинила свою діяльність у 2002 р. до того, як хмарні обчислення вийшли на широкий ринок: слово «хмара» потребувало інноваційного маркетингу.

У 1996 р. компанія Compaq (заснована у 1982 р., CPQ у лістингу біржі NYSE, поглинена Hewlett-Packard (заснована у 1939 р., HPQ у лістингу біржі NYSE, розпалася у 2015 р. на HP Inc. (HPQ у лістингу біржі NYSE)

та Hewlett-Packard (HPE у лістингу біржі NYSE) у 2002 р.) побудувала стратегію на основі згаданої концепції General Magic [6]. Тоді набирали популярності Інтернет-браузери, скажімо, від компанії Netscape (заснована у 1994 р. як Mosaic Communications Corporation (у 1993 р. один з авторів даної роботи, коли проходив докторський курс з економіки Університету штату Мічиган (заснованого у 1855 р.), пропонував для інвестиційного банку Lehman Brothers (заснований у 1850 р., LEH у лістингу біржі NYSE, у 2008 р. поглинений Barclays (заснований у 1690 р., BCS у лістингу біржі NYSE) та Nomura Holdings (заснований у 1925 р., NMR у лістингу біржі NYSE)) проект Internet for Ukraine), з 1995 р. очолював Джеймс Барксдейл (народився у 1943 р., здобув науковий ступінь бакалавра з ділового адміністрування Університету Міссісіпі (заснованого у 1844 р., де один з авторів даної роботи стажувався, вигравши конкурс за програмою США Contemporary Issues і зберігаючи електронну адресу від Netscape) у 1965 р.), куплена у 1998 р. America Online (заснована у 1983 р. як Control Video Corporation (CVC), з 2021 р. дочірня компанія Yahoo! Inc. (заснована у 2017 р.)), та Інтернет-бізнеси.

Засновник підрозділу Інтернет-рішень компанії Compaq Джордж Фавалоро (здобув наукові ступені бакалавра Принстонського університету (заснованого у 1746 р.) і магістра з ділового адміністрування Школи Амоса Така (Амос Так народився у м.Парсонсфілд штату Мейн у 1810 р., здобув науковий ступінь з права Дартмутського коледжу (заснованого у 1769 р.) у 1835 р., засновник Республіканської партії США, помер у м.Ексетер штату Нью-Гемпшир у 1879 р.) Дартмутського коледжу, керуючий директор у Групі рішень самопідтримуваного бізнесу відомої компанії PricewaterhouseCoopers (PwC; заснована у 1854 р. як Coopers & Lybrand у Великобританії)) 14 листопада 1996 р. видав 50-сторінковий внутрішній аналіз (бізнес-план) «Стратегія підрозділу Інтернет-рішень для хмарних обчислень», який точно передбачає, що корпоративне програмне забезпечення поступиться місцем веб-сервісам (Web-enabled services), а в майбутньому «прикладне програмне забезпечення буде особливістю не апаратного забезпечення, а Інтернету». У цьому документі вперше надруковано термін «cloud computing». Припускалося, що в Інтернет можна переміщати також сховища файлів, а тому прогнозувався попит на сервери з боку Інтернет-провайдерів. Висувалося багато плідних ідей, які згодом охопили багатомільярдний Інтернет-бізнес. Compaq спромоглася отримувати великий прибуток від продажів обладнання для просування оголошеної новітньої хмарної технології та відповідних Інтернет-сервісів, а також «протохмарних» сервісів (послуги електронної пошти, хостингу, розташування веб-сайтів тощо) [7, 8], не переймаючись виплатою дивідендів на свої акції [9, 10]. Недостатнє розуміння ролі нової технології у підрозділах інтелектуальної власності, реклами і маркетингу компанії Compaq, врешті-решт, призвело до поглинання компанії у 2002 р.

Водночас 14 травня 1997 р. компанія NetCentric з освітніх онлайн-послуг (яку заснував Шон О'Салліван (народився у м.Нью-Йорк, здобув наукові ступені бакалавра з електротехніки Політехнічного інституту Ренсселера (у 1824 р. заснував Стівен Ван Ренсселер, який народився у м.Нью-Йорк у 1764 р., навчався у Коледжі Нью-Джерсі (Прінстоні) і здобув науковий ступінь бакалавра Гарвардського коледжу (заснованого у 1636 р.) у 1782 р., член Конгресу США у 1822–1829 рр., помер у м. Нью-Йорк у 1839 р.) у 1985 р. та магістра з образотворчого мистецтва у кінорежисурі Університету Південної Каліфорнії (заснованого у 1880 р.) у 2003 р.)) подала заявку (серійний номер 75291765) на реєстрацію товарного знаку в Патентному відомстві США для терміну «хмарні обчислення», але 21 квітня 1999 р. (Салліван працював у NetCentric до липня 1997 р.) відмовилася від цієї ідеї, не завершивши процес реєстрації [11]. Товарний знак мав на увазі такі освітні послуги, як заняття та семінари (у 2015 р. створено відділ хмаро орієнтованих систем інформатизації освіти в Інституті цифровізації освіти Національної академії педагогічних наук (НАПН) України (заснований у 1999 р. як Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України)).

У грудні 1985 р. стартап MapInfo як інкубаторський проект Політехнічного інституту Ренсселера заснували 4 студенти цього інституту, серед яких був Шон О'Салліван (працював у MapInfo до липня 1992 р.). Цей стартап переносив технологію картографування вулиць на персональні комп'ютери і в 1994 р. вийшов на IPO [9, 10]. У жовтні 1994 р. О'Салліван заснував венчурну компанію SOSV (спочатку – SOSventures) для підтримки «ангельських» (початкових) інвестицій. Зараз кожного тижня у середньому 3 нові стартапи знаходять підтримку SOSV. На 2020 р. SOSV мала 8 генеральних партнерів по всьому світу з великими офісами в Азії (м. Тайбей, м. Токіо, м.Шанхай, м.Шеньчжен), США (м. Ньюарк, м. Нью-Йорк, м. Сан-Франциско), Ірландії (м. Корк). Компанія NetCentric у 1996 р. стала другою, яку очолив О'Салліван. Він створив програмне забезпечення для внутрішнього Інтернету (software for inside the Internet), яке можна вважати елементом «протохмарних» технологій. О'Салліван у вересні 2003 р. заснував компанію JumpStart International для соціально-економічного розвитку на підтримку ділових, гуманітарних, освітніх ініціатив. Ця компанія була провідною гуманітарною інженерною організацією, базувалася у м.Багдад (столиця Іраку), працювала на відбудову Іраку в післявоєнний період 2003–2006 рр. (після військової операції США в Іраку від 19 березня до 1 травня 2003 р.) і керувала майже 80 проектами у м.Б.агдад, м. Наджаф, м. Фаллуджа. Фонд Шона О'Саллівана був основним спонсором Khan Academy (у 2006 р. заснував як некомерційну освітню організацію Салман Хан (народився у переписній місцевості Метарі штату Луїзіана у сім'ї вихідців з Бенгалії у 1976 р., здобув наукові ступені бакалавра з математики, бакалавра та магістра з електротехніки і комп'ютерних наук Массачусетського технологічного інституту (заснованого у 1861 р.) у 1998 р.,

магістра ділового адміністрування і почесного доктора права Гарвардського університету)), MATHletes (математичні турніри для школярів, які проводяться в Ірландії з 2014 р.) та CoderDojo (у 2011 р. заснували у м. Корк (Ірландія) як всесвітню мережу безкоштовних клубів програмування для молодих людей віком 7–17 років Джеймс Велтон (народився у 1993 р., створив годинникові образи для iPod Nano (випускає Apple з вересня 2005 р.) у 2009 р.) та Білл Ляо (народився в Австралії у 1967 р., був директором з операцій телекомунікаційної компанії Davnet (придбана Nippon Telegraph and Telephone Corporation (започаткована у 1952 р., NTT у лістингу біржі NYSE) у 1996 р.) з капіталізацією понад 7 млрд. дол. на Австралійській фондовій біржі (започаткованій у 1861 р. до утворення Австралійського Союзу у 1901 р.))). Шон О'Салліван у березні 2012 р. заснував організацію Open Ireland для залучення людського капіталу в Ірландію та виявив лідерство у впливі на політику уряду Ірландії (зокрема, через свою постійну участь у популярному телевізійному реаліті-шоу RTÉ Dragon's Den (виходить з лютого 2009 р.) та свої публікації в ірландській газеті Sunday Business Post (виходить з 1989 р.)) щодо стимулювання (fueling) економічного зростання та відновлення технологічного сектора: зараз Ірландія посідає провідні місця в експорті ІКТ [12].

9 квітня 2001 р. вирази «хмара комп'ютерів» та «хмарні обчислення» з'явилися у статті, опублікованій у New York Times (виходить з 1851 р.) [13], де термін «хмара» використовувався в тому ж значенні, в якому він використовується сьогодні: «Для Microsoft ідея.NET полягає у програмному забезпеченні, яке не знаходиться на жодному комп'ютері, а існує в «хмарі комп'ютерів», що становлять Інтернет. ... З літа минулого року пан Гейтс працював над перетворенням своєї компанії за допомогою таких систем, як розрекламований проект Hailstorm [.NET My Services], метою якого є перенесення більшої частини особистої інформації користувачів комп'ютерів – від їхнього щоденного календаря до їхніх банківських реквізитів – зі свого робочого столу до мережевої хмари, до якої користувач може отримати доступ з будь-якого пристрою та з будь-якого місця».

9 серпня 2006 р. тодішній генеральний директор Google Ерік Шмідт (народився у м. Фолс-Черч штату Вірджинія у 1955 р., вивчав архітектуру в Принстонському університеті, здобув наукові ступені бакалавра з електротехніки Принстонського університету у 1976 р., магістра Університету Каліфорнії, Берклі у 1979 р. (за проектування і втілення мережі Berknet, що пов'язує комп'ютерний центр кампуса з факультетами комп'ютерних наук та електротехніки), доктора філософії Університету Каліфорнії, Берклі у 1982 р. (за засоби вирішення проблем управління розробкою розподіленого програмного забезпечення)) привернув широку увагу до терміну «хмарні обчислення» на галузевій конференції зі стратегій пошукових систем: «Що цікаво [зараз], це те, що з'являється нова модель, і ви всі тут тому, що ви є частиною цієї нової моделі. Я не думаю, що люди справді зрозуміли, наскільки великою є ця можливість насправді. Це починається з передумови, що служби даних та архітектура повинні перебувати на серверах. Ми називаємо це хмарними обчисленнями – вони мають бути десь у «хмарі». І що якщо у вас є правильний тип браузера або правильний тип доступу, не має значення, чи є у вас ПК, чи Mac, чи мобільний телефон, чи [смартфон] BlackBerry, або що у вас є – чи нові пристрої, які ще потрібно розробити, – ви можете отримати доступ до хмари. Є багато компаній, які виграли від цього. Очевидно, на думку спадають Google, Yahoo!, eBay, Amazon. Обчислення, дані і так далі знаходяться на серверах» [14].

Можливо, Шмідт скористався можливістю застосувати термін «хмарні обчислення» на конференції, щоб відвернути увагу від нового проекту Elastic Compute Cloud (EC2) на Amazon.com, який компанія Amazon планувала незабаром запустити на ринок [15]. Через 19 днів, 25 серпня 2006 р., Amazon офіційно випустила обмежену загальнодоступну бета-версію EC2. Таким чином Шмідт запровадив термін у повному обсягу. Термін став широко використовуватися, починаючи з 2007 р., після того, як великі технологічні компанії (Amazon, Microsoft та IBM, які пізніше перетворилися на ключових постачальників хмарних послуг) також почали рекламувати зусилля з хмарних обчислень. Тоді ж термін уперше з'явився в заголовках газетних статей, зокрема, стаття у The New York Times 15 листопада 2007 р. закріпила цей термін в очах громадськості заголовком «IBM просуває «хмарні обчислення», використовуючи дані здалеку» [16]. З того часу використання терміну, як і сама індустрія, розвивалося надзвичайно швидко та успішно.

23 березня 2007 р. комп'ютерний гігант Dell (заснована у 1984 р.; DELL у лістингу біржі NYSE) також подав заявку на товарний знак «cloud computing» до Патентного відомства США, але запізнився: у серпні 2008 р. у реєстрації було відмовлено, а заявка була відхилена на тій підставі, що цей термін вже став загальним і заявлений знак просто описує особливість та характеристику послуг заявника [F]. Крім того, було зазначено, що знак, що запитується, не тільки носить описовий характер, але і є загальним по відношенню до зазначених послуг і, отже, не може використовуватися як первинний ідентифікатор для послуг заявника, тобто не може однозначно ідентифікувати його послуги [17, 18].

Таким чином, використання абстракції для нарисів технічних рішень призвело до того, що хмара стала символом для множини технологій комп'ютерних обчислень. Метафора хмари стала означати технологічну революцію у сфері ІТ. Цей символ набув широкого поширення та використовується для побудови нових бізнес-моделей, орієнтованих на Інтернет. Те, що було задумано як рекламний образ, завоювало популярність і стало домінуючою концепцією.

Віртуальні машини та гіпервізори – це технології, що забезпечують віртуалізовані обчислення і належать до засобів створення інфраструктури хмарних систем.

Однією з ключових характеристик хмарних обчислень є здатність спільно використовувати ресурси. Ця здатність важлива для таких характеристик, як масштабованість і стійкість. Спільне використання обчислювальних ресурсів потребує певного рівня віртуалізації. Віртуалізація в цілому означає, що деякий ресурс стає доступним для використання у формі, яка фізично не існує як така, але створюється таким чином, щоб здаватися фізично існуючою за допомогою ПЗ. Іншими словами, віртуалізація забезпечує абстракцію базового ресурсу, що перетворюється на програмно визначену форму для використання іншими програмними об'єктами. ПЗ, що виконує віртуалізацію, дозволяє кільком користувачам одночасно спільно використовувати один фізичний ресурс, не заважаючи один одному і зазвичай не знаючи один одного [19].

Віртуальна машина (ВМ) – це ізольоване середовище виконання для запуску ПЗ, що використовує віртуалізовані фізичні ресурси. Створення ВМ включає віртуалізацію системи. ПЗ в кожній ВМ надається ретельно контрольований доступ до фізичних ресурсів, щоб забезпечити спільне використання цих ресурсів без взаємних перешкод. Іноді так звані системні ВМ надають функціональні можливості, необхідні для виконання повних програмних стеків, включаючи цілі операційні системи (ОС) та коди програм, що використовують ОС.

Призначення ВМ – дозволяти декільком програмам працювати одночасно в одній апаратній системі, залишаючи ці програми ізольованими одна від одної. ПЗ, що працює на кожній ВМ, працює так, ніби має власне системне обладнання, таке як процесор, оперативну пам'ять, пристрої та мережеве обладнання. Ізольованість означає, що ПЗ, яке працює на одній ВМ, є відокремленим від ПЗ, яке працює на інших ВМ у тій же системі, і не знає про нього, а також є відокремленим від основної ОС. Віртуалізація зазвичай означає, що кожній ВМ може бути доступна підмножина доступних фізичних ресурсів (наприклад, обмежена кількість процесорів, обмежена оперативна пам'ять, обмежений простір для зберігання та контрольований доступ до мережевих можливостей).

ВМ надає програмному ПЗ всередині ВМ віртуалізовану версію системного обладнання. Доступ до віртуалізованих апаратних ресурсів надається посередником, а ПЗ всередині ВМ може бачити та використовувати лише ретельно контрольовану та обмежену версію цих ресурсів (наприклад, обмежену кількість процесорів і потоків, обмежену ОЗП).

Кожна ВМ містить повний стек ПЗ – від ОС до будь-якого іншого ПЗ, необхідного для запуску програм, які виконуються у ВМ. Програмний стек може бути простим (наприклад, додаток, написаний мовою С з використанням тільки функцій, що надаються самою ОС) або складним (наприклад, додаток, написаний мовою Java, що вимагає середовища виконання та використовує бібліотеки та служби, яких немає в ОС та які мають поставлятися окремо).

У принципі, кожна ВМ може містити будь-яку ОС. На різних ВМ в одній апаратній системі можуть працювати різні операційні ОС, такі як Linux і Windows. Єдина вимога полягає в тому, щоб все ПЗ, яке працює на ВМ, було розроблено для апаратної архітектури базової системи (обладнання є віртуалізованим, але не емулюється): наприклад, код, створений для процесора ARM, не працюватиме на ВМ, яка працює в системі Intel x86.

Одним із підходів до віртуалізації обчислювальних ресурсів є використання ВМ, при якому гіпервізор забезпечує абстракцію системного обладнання та дозволяє кільком ВМ працювати в даній фізичній системі, де кожна ВМ містить свою гостьову ОС. Це дозволяє спільно використовувати систему додатків, що працюють на кожній ВМ.

Гіпервізор, який ще називають монітором ВМ, є ПЗ, яке віртуалізує фізичні ресурси і дозволяє запускати ВМ. Віртуалізація означає контроль абстракції основних фізичних ресурсів системи. Гіпервізор також керує роботою ВМ. Гіпервізор виділяє ресурси кожній працюючій ВМ, включаючи центральний процесор (ЦП), пам'ять, дискове сховище, мережеві можливості та смугу пропускання.

Гіпервізори бувають двох типів:

«чистий метал» («рідний», тип I);

«вбудований» («розміщений», тип II).

Гіпервізори типу I можуть бути швидшими та ефективнішими, оскільки їм не потрібно працювати через ОС хоста. Гіпервізори типу II можуть бути повільнішими, але їх перевага полягає в тому, що їх зазвичай простіше налаштувати і вони сумісні з ширшим спектром обладнання, ніж гіпервізори типу I. Варіанти обладнання мають враховуватися в код гіпервізора типу I, позаяк гіпервізори типу II використовують переваги апаратної підтримки, вбудованої в ОС хоста.

Гіпервізори типу I працюють безпосередньо на базовому апаратному забезпеченні системи та безпосередньо керують цим обладнанням, а також керують ВМ.

Гіпервізори типу II працюють над ОС хоста (точніше – над ядром ОС хоста). ОС хоста контролює апаратне забезпечення системи, а гіпервізор використовує свої можливості для запуску та керування ВМ.

Гіпервізор зазвичай є ПЗ, яке встановлюється і керується стороною, що надає ресурси. Служба, яка запускає ВМ, пропонує користувачеві можливість завантажувати ПЗ із образу ВМ та запускати ПЗ ВМ у системі, що надає ресурс. ВМ управляється гіпервізором без участі користувача.

Для апаратних систем ОС працює з найвищим рівнем привілеїв, оскільки вона має контролювати доступ до всіх апаратних ресурсів. Оскільки гіпервізор має контролювати весь доступ до ЦП та пам'яті гостьових ВМ,

забезпечуючи віртуалізацію процесора та пам'яті, він має працювати з рівнем привілеїв вищим, ніж усі VM. Для цього в апаратних системах встановлюються гіпервізори, які забезпечують підтримку віртуалізації. Зокрема, апаратна система забезпечує два стани процесора: режим root з повноваженнями (гіпервізор) та режим root без повноважень (гостьовий). Усі гостьові ОС працюють у режимі root без повноважень, позаяк тільки гіпервізор працює у режимі root з повноваженнями.

Незважаючи на апаратну підтримку віртуалізації, ізоляція процесу виконання для VM, що надається гіпервізором, може порушуватися несанкціонованими або зламаними VM, які отримали доступ до областей пам'яті, що належать гіпервізору чи іншим VM. Несанкціоновані або зламані віртуальні VM використовують певні вразливості конструкції гіпервізора щодо певних структур ПЗ, таких як блок управління VM (virtual machine control block, VMCB) і таблиці сторінок пам'яті, які використовуються гіпервізором для відстеження стану виконання VM та зіставлення адрес пам'яті від VM з адресами пам'яті від хоста. Оскільки ці вразливості гіпервізорів є відомими протягом деякого часу, то багато з них усунені чи усуваються. Нові версії гіпервізорів були оновлені і посилені. Користувачі та розпорядники мають перевіряти, чи всі використовувані гіпервізори оновлені та захищені від відомих вразливостей безпеки.

Інша проблема з безпекою хост-платформи гіпервізора пов'язана з ПЗ, яке використовується для забезпечення віртуалізації пристроїв. На відміну від віртуалізації множини команд (коду) ОС та пам'яті, віртуалізація пристроїв не виконується безпосередньо гіпервізором, а здійснюється за допомогою допоміжних програмних модулів. Основні джерела вразливостей – це код імітування фізичних апаратних пристроїв, що працюють в гіпервізорі як завантажуваний модуль ядра, і драйвери пристроїв для пристроїв з прямим доступом до пам'яті (direct memory access, DMA), які можуть отримувати доступ до областей пам'яті інших VM або гіпервізора.

Потенційно шахрайська VM може отримувати контроль над гіпервізором через встановлення руткітів (руткіт (rootkit) – програма чи набір програм для приховання слідів присутності зловмисника або шкідливої програми в системі) або атаки на інші VM на тому самому хості гіпервізора. Все ПЗ для віртуалізації пристроїв має перевірятися на наявність недоліків безпеки перед встановленням та використанням у системі з гіпервізора і VM.

Образ VM – це пакет даних, що містить інформацію та код виконання, необхідні для запуску екземпляра VM. За необхідності, образ VM використовується для створення нового екземпляра VM. Образ VM може включати повний програмний стек, необхідний для запуску програми, – від ОС і бібліотек, середовища виконання до власне коду програми, файлів конфігурації та інших метаданих, що використовуються програмою. Образ VM може включати метадані, пов'язані зі створенням самої VM.

Метадані VM містять інформацію про конфігурацію та запуск VM. Сюди можуть входити такі властивості VM, як розмір ОЗП, вимоги до ЦП тощо. Метадані VM також зазвичай посилаються на образи дисків, що містяться в образі VM, зокрема, вказуючи на те, як вони розгортаються в екземплярі VM.

Концепція образу VM полягає в тому, що він має містити всі сутності, необхідні для запуску екземпляра VM, де образ VM використовується як вхідні дані для гіпервізора, щоб він міг створювати і запускати VM. Загалом образ VM складається з двох наборів даних – метаданих VM та образів дисків. Важливо розуміти, що є низка різних форматів як для метаданих VM, так і для образів дисків. Конкретний гіпервізор, який використовується для створення екземпляра VM, може розуміти лише певні формати метаданих VM та образів дисків.

Образи VM засновані на даних, які зберігаються у файлах. Ці файли містяться у файлових системах, які зберігаються в образі VM в якості одного чи навіть кількох образів дисків. Це можуть бути файли ОС, програми або будь-якої іншої потрібної частини програмного стека. Існує принаймні один образ диска, але їх може бути кілька, якщо такою є організація файлів, що використовується програмою та його програмним стеком. Коли обсяг даних, що містяться в образах дисків, є великим, то формати для зберігання даних використовують стиснення у тій чи іншій формі.

Існує низка форматів образів VM та образів дисків, значна частина яких є пропріетарною або має відкритий вихідний код. Приклади стандартизованих форматів образів віртуальних машин та образів дисків:

OVF («відкритий формат віртуалізації») (ISO/IEC 17203:2017), пакет якого включає кілька файлів, розміщених в одному каталозі. Існує файл дескриптора OVF (з розширенням .ovf), що має вміст формату XML та описує упаковану VM, включаючи метадані, такі як ім'я, вимоги до обладнання та посилання на інші файли в пакеті. Пакет OVF також містить один або кілька образів дисків і деякі додаткові файли, такі як файли сертифікатів. Формат образу OVF має широкий спектр безпосередньої підтримки та опосередкованої підтримки за допомогою інструментів імпорту/експорту;

формат диска ISO архіву, що використовується для вмісту оптичних дисків (ISO 9660, ISO/IEC 13346);

файлова система для оптичних дисків, в основному для компакт-дисків (ISO 9660);

універсальний дисковий формат (UDF) (ISO/IEC 13346) використовується у форматах дисків DVD і Blu-ray (BD), зокрема в оптичних носіях, що (пере)записуються.

Образи дисків зазвичай є стиснутими, хоча необроблені нестиснуті образи дисків використовуються для підвищення продуктивності запуску VM: формати образів VM та образів дисків приймаються конкретним гіпервізором відповідно до документації.

Висновки

Незважаючи на повсюдне поширення хмарних систем, проектування цих систем залишається складним завданням. Сумарна вартість їх розроблення, оновлення та супроводження дуже висока, бо хмарні системи значно складніші в розгортанні, реалізації та налагодженні, ніж традиційні [20]. Використання нових методологій проектування та технологій розробки хмарних систем дозволить задовольняти попит на сучасні, надійні, масштабовані прикладні програмні інтерфейси та сервіси, а також сприятиме створенню нових класів хмарних застосунків та сервісів у майбутньому.

Список використаної літератури

1. Горбачук В.М., Бардадим Т.О., Осипенко С.П. Задача децентралізованого прийняття рішень для сучасних хмарних послуг. *Вісник Київського університету. Серія: фізико-математичні науки*. 2021. № 2. С. 32–38.
2. Горбачук В.М., Большаков В.М., Голоцуков Г.В., Пустовойт М.М. Сучасні виклики еволюції хмарних архітектур. *Інтелектуальні рішення – С* (29 вересня 2021 р.). В.Є.Снитюк (ред.) Київ – Ужгород: КНУ імені Т. Шевченка, 2021. С. 40–43.
3. Lisdorf A. *Cloud Computing Basics: A Non-Technical Introduction*. Copenhagen, Denmark: Apress, 2021. 208 p.
4. *Advances in CLOUDs. Research in Future Cloud Computing*. Expert Group Report. Public version 1.0. L. Schubert, K. Jeffery (eds.) Luxembourg: Software & Service Architectures, Infrastructures and Engineering Unit; Commission of the European Communities, Information Society & Media Directorate-General; Publications Office of the European Union, 2012. 84 p.
5. Levy S. Bill and Andy's Excellent Adventure II. With their new company, General Magic, the creators of the Macintosh aim to revolutionize computing – again. *Wired*. 1994, April 1. URL: <https://www.wired.com/1994/04/general-magic/> (дата звернення: 29.11.2022).
6. *Cloud computing – who said it first*. Greatsoft Team. URL: <https://greatsoft.co.za/cloud-computing-said-first/> (дата звернення: 29.11.2022).
7. Sourabh. NetCentric or Compaq: who coined the term cloud computing? *Source Digit*. 2012, September 16. URL: <https://sourcedigit.com/903-netcentric-or-compaq-who-coined-the-term-cloud-computing/> (дата звернення: 29.11.2022).
8. John. Who coined the phrase cloud computing? *JohnMWillis Blog*. 2008, December 31. URL: <https://web.archive.org/web/20090408072420/http://www.johnmwillis.com/cloud-computing/who-coined-the-phrase-cloud-computing/> (дата звернення: 29.11.2022).
9. Горбачук В.М. *Фінансові методи*. Київ: Альтерпрес, 2002. 175 с.
10. Горбачук В.М. *Фінансові рішення*. Київ: Альтерпрес, 2003. 175 с.
11. *Cloud computing*. US Serial Number 75291765. Application Filing Date: May 14, 1997. Date Abandoned: April 21, 1999. URL: https://tsdr.uspto.gov/#caseNumber=75291765&caseType=SERIAL_NO&searchType=statusSearch (дата звернення: 29.11.2022).
12. Горбачук В.М., Лещинська Л.В. Міжнародні інтеграційні процеси та вимірювання рівня піратства. *Актуальні питання міжнародних відносин*. 2012. Вип. 109 (I). С. 40–42.
13. Markoff J. An Internet critic who is not shy about ruffling the big names in high technology. *New York Times*. 2001, April 9. URL: <https://www.nytimes.com/2001/04/09/business/internet-critic-who-not-shy-about-ruffling-big-names-high-technology.html> (дата звернення: 29.11.2022).
14. Conversation with Eric Schmidt hosted by Danny Sullivan. *Search Engine Strategies Conference*. Google Press Center. 2006, August 9. URL: <https://www.google.com/press/podium/ses2006.html> (дата звернення: 29.11.2022).
15. Cohen R. Who invented the term cloud computing? *Elasticvapor*. 2008, December 31. URL: <http://www.elasticvapor.com/2008/12/who-invented-term-cloud-computing.html> (дата звернення: 29.11.2022).
16. Lohr S. I.B.M. to push 'Cloud Computing,' using data from afar. *New York Times*. 2007, November 15. URL: <https://www.nytimes.com/2007/11/15/technology/15blue.html> (дата звернення: 29.11.2022).
17. Fiveash K. Dell cloud computing™ denied. Why it always rain on me. *The Register*. 2008, August 18. URL: https://www.theregister.com/2008/08/18/dell_cloud_computing_denied/ (дата звернення: 29.11.2022).
18. *Cloud computing*. US Serial Number 77139082. Application Filing Date: March 23, 2007. Date Abandoned: February 23, 2009. URL: https://tsdr.uspto.gov/#caseNumber=77139082&caseType=SERIAL_NO&searchType=statusSearch (дата звернення: 29.11.2022).
19. ISO/IEC 22123-1:2021 Information technology – Cloud computing – Part 1: Vocabulary. URL: <https://www.iso.org/standard/80350.html> (дата звернення: 29.11.2022).
20. Горбачук В.М., Дунаєвський М.С., Сулейманов С.-Б., Батіг Л.О., Симонов Д.І. Моделі прийняття рішень на ринку хмарних послуг. *Кібернетика та комп'ютерні технології*. 2021. № 3. С. 53–64.

References

1. Gorbachuk V.M., Bardadym T.O., Osypenko S.P. Zadacha detsentralizovanoho pryiniattia rishen dlia suchasnykh khmarnykh posluh. *Visnyk Kyivskoho univesytetu. Seriya: fizyko-matematychni nauky*. 2021. № 2. P. 32–38.
2. Gorbachuk V.M., Bolshakov V.M., Golotsukov H.V., Pustovoit M.M. Suchasni vyklyky evoliutsii khmarnykh arkhitektur. *Intelektualni rishennia – S* (29 veresnia 2021 r.). V.Ie.Snytiuk (red.) Kyiv – Uzhhorod: KNU imeni T.Shevchenka, 2021. P. 40–43.
3. Lisdorf A. *Cloud Computing Basics: A Non-Technical Introduction*. Copenhagen, Denmark: Apress, 2021. 208 p.
4. *Advances in CLOUDs. Research in Future Cloud Computing*. Expert Group Report. Public version 1.0. L. Schubert, K. Jeffery (eds.) Luxembourg: Software & Service Architectures, Infrastructures and Engineering Unit; Commission of the European Communities, Information Society & Media Directorate-General; Publications Office of the European Union, 2012. 84 p.
5. Levy S. Bill and Andy's Excellent Adventure II. With their new company, General Magic, the creators of the Macintosh aim to revolutionize computing – again. *Wired*. 1994, April 1. URL: <https://www.wired.com/1994/04/general-magic/> (дата звернення: 29.11.2022).
6. *Cloud computing – who said it first*. Greatsoft Team. URL: <https://greatsoft.co.za/cloud-computing-said-first/> (дата звернення: 29.11.2022).
7. Sourabh. NetCentric or Compaq: who coined the term cloud computing? *Source Digit*. 2012, September 16. URL: <https://sourcedigit.com/903-netcentric-or-compaq-who-coined-the-term-cloud-computing/> (дата звернення: 29.11.2022).
8. John. Who coined the phrase cloud computing? *JohnMWillis Blog*. 2008, December 31. URL: <https://web.archive.org/web/20090408072420/http://www.johnmwillis.com/cloud-computing/who-coined-the-phrase-cloud-computing/> (дата звернення: 29.11.2022).
9. Gorbachuk V.M. *Finansovi metody*. Kyiv: Alterpres, 2002. 175 p.
10. Gorbachuk V.M. *Finansovi rishennia*. Kyiv: Alterpres, 2003. 175 p.
11. *Cloud computing*. US Serial Number 75291765. Application Filing Date: May 14, 1997. Date Abandoned: April 21, 1999. URL: https://tsdr.uspto.gov/#caseNumber=75291765&caseType=SERIAL_NO&searchType=statusSearch (дата звернення: 29.11.2022).
12. Gorbachuk V.M., Leshchynska L.V. Mizhnarodni intehratsiini protsesy ta vymiriuvannia rivnia piratstva. *Aktualni pytannia mizhnarodnykh vidnosyn*. 2012. Vyp. 109 (I). P. 40–42.
13. Markoff J. An Internet critic who is not shy about ruffling the big names in high technology. *New York Times*. 2001, April 9. URL: <https://www.nytimes.com/2001/04/09/business/internet-critic-who-not-shy-about-ruffling-big-names-high-technology.html> (дата звернення: 29.11.2022).
14. Conversation with Eric Schmidt hosted by Danny Sullivan. *Search Engine Strategies Conference*. Google Press Center. 2006, August 9. URL: <https://www.google.com/press/podium/ses2006.html> (дата звернення: 29.11.2022).
15. Cohen R. Who invented the term cloud computing? *Elasticvapor*. 2008, December 31. URL: <http://www.elasticvapor.com/2008/12/who-invented-term-cloud-computing.html> (дата звернення: 29.11.2022).
16. Lohr S. I.B.M. to push 'Cloud Computing,' using data from afar. *New York Times*. 2007, November 15. URL: <https://www.nytimes.com/2007/11/15/technology/15blue.html> (дата звернення: 29.11.2022).
17. Fiveash K. Dell cloud computing™ denied. Why it always rain on me. *The Register*. 2008, August 18. URL: https://www.theregister.com/2008/08/18/dell_cloud_computing_denied/ (дата звернення: 29.11.2022).
18. *Cloud computing*. US Serial Number 77139082. Application Filing Date: March 23, 2007. Date Abandoned: February 23, 2009. URL: https://tsdr.uspto.gov/#caseNumber=77139082&caseType=SERIAL_NO&searchType=statusSearch (дата звернення: 29.11.2022).
19. ISO/IEC 22123-1:2021 Information technology – Cloud computing – Part 1: Vocabulary. URL: <https://www.iso.org/standard/80350.html> (дата звернення: 29.11.2022).
20. Gorbachuk V.M., Dunaievskiy M.S., Suleimanov S.-B., Batih L.O., Symonov D.I. Modeli pryiniattia rishen na rynku khmarnykh posluh. *Kibernetyka ta komp'uterni tekhnolohii*. 2021. № 3. P. 53–64.