

Датацентри в пошуках енергії



Штучний інтелект тисне на світову енергосистему.

За даними Міжнародної енергетичної агенції (МЕА), енергія, що її споживають датацентри світу, до 2026 року може подвоїтися і перевищити 1 тис. терават-годин. У 2022 році ЦОД спожили 460 ТВт·год, що становило майже 2% загальносвітового обсягу. «Щоби впоратися зі сплеском енергоспоживання в датацентрах, будуть критично необхідні законодавчі зміни і технологічні вдосконалення, зокрема в частині енергоефективності», — зазначає агенція. Серед іншого, мова про новітні системи охолодження і економію за рахунок розмірів. Також оператори датацентрів шукають нових місць з доступною енергією або варіантів власної генерації.

Приріст завбільшки з Японію

Як йдеться у звіті МЕА *Electricity 2024: Analysis and forecast to 2026* («Електроенергія у 2024 році: аналіз та прогнози до 2026-го»), залежно від темпів будівництва ЦОД,

вдосконалення їхньої енергоефективності та розвитку криптовалют і штучного інтелекту очікується, що споживання у 2026 році перебуватиме в діапазоні 600–1050 ТВт·год, прогнозна цифра для базового сценарію становить 800 ТВт·год (рис. 1). Тобто зростання буде на 160–590 ТВт·год, що еквівалентно енергетичним потребам як мінімум однієї Швеції або як максимум однієї Німеччини чи Японії.

Наразі у світі налічується понад 8 тис. ЦОД, з них 33% у США, 16% в Європі і 10% в Китаї. За даними МЕА, до 2026 року енергоспоживання американських датацентрів зросте з 200 ТВт·год, що становить 4% від загального по країні, до 260 ТВт·год (6%). В ЄС станом на 2022 рік споживання становило 100 ТВт·год, що також еквівалентно 4% від загального по спільноті, і у зв'язку з планами будівництва великої кількості

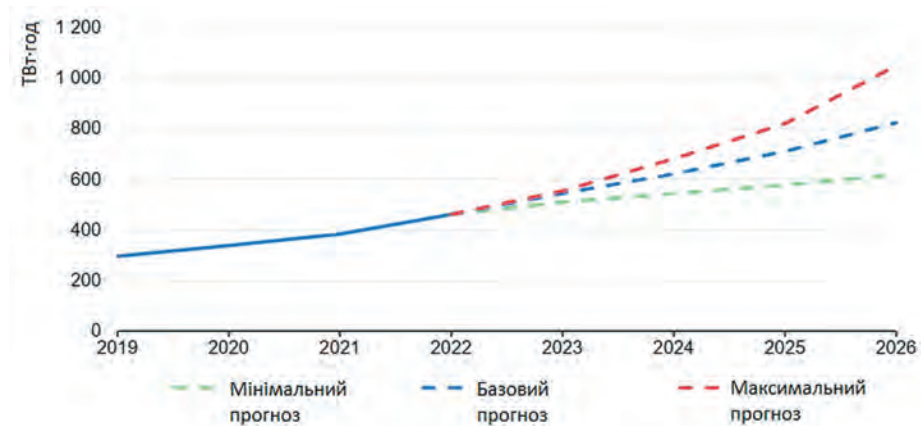


Рис. 1. Глобальні потреби в електроенергії для ЦОД, ШІ та криптовалют у 2019–2026 рр. (джерело: МЕА, 2024 р.)

BE MOBILE BUSINESS DATA PARK

TIER III
ISO 27001
PCI DSS
ISO 50001

нових ЦОД має зрости до 150 ТВт·год. В Китаї державний профільний інститут прогнозує, що до 2030 року споживання сягне 400 ТВт·год — удвічі більше, ніж у 2020-му.

Одним з найпопулярніших місць для розміщення датацентрів є Ірландія. Там розташовані 82 ЦОД, ще 14 будуються, і 40 в планах, чому сприяє один з найнижчих в ЄС податків на корпоративний прибуток (12,5%). Споживання електроенергії в ірландських датацентрах наразі складає 5,3 ТВт·год, що відповідає 17% від загального по країні, а до 2026-го ця цифра сягне 32%. Щоб забезпечити стабільність і надійність електромережі, уряд країни наприкінці 2021 року запровадив критерії для підключення датацентрів. По-перше, воно можливе, якщо у місці розташування об'єкта нема дефіциту електроенергії. По-друге, ЦОД повинен мати змогу доставити на локацію диспетчеризоване обладнання генерації або принаймні накопичення електроенергії. І, по-третє, на вимогу оператора електромережі він повинен мати змогу зменшити

споживання, що має бути прописано в контрактах з замовниками.

В Данії наразі розташовані 34 датацентри, і очікується, що у 2026 році сектор споживатиме 6 ТВт·год — 20% від потреб країни. Данія є центром нової пан-Європейської ініціативи — NetZero Innovation Hub for Data Centers, яка об'єднує постачальників, операторів електромереж і уряди країн з метою декарбонізації. В інших скандинавських країнах індустрія виграє завдяки меншим витратам на електрику, що обумовлено холодним кліматом і низькими цінами на неї. Найбільшим гравцем серед цих країн є Швеція, яка має 60 ЦОД і у серпні минулого року анонсувала спорудження датацентру з живленням від малих модульних ядерних реакторів, його планують ввести в експлуатацію у 2030 році.

У США найбільше датацентрів розташовано в Каліфорнії, Техасі та Вірджинії. Зокрема в останній у 2021 році на даний сектор припало 62% нових інвестицій і понад 5 тис. нових робочих

місць. У північній частині штату, яка є найбільшим ринком ЦОД у країні, сплачується \$1 млрд щорічних податків, і будівництво продовжується: наприклад, Amazon має намір вкласти \$35 млрд до 2040 року.

Неефективні криптовалюти і жадібний ШІ

Як зазначає MEA, у 2022 році на криптовалюти було витрачено 110 ТВт·год, що відповідає 0,4% глобального споживання і дорівнює річній потребі Нідерландів. У своєму базовому сценарії агенція прогнозує, що до 2026 року цей обсяг зросте на 40% і сягне 160 ТВт·год, проте тут є багато невизначеності, яка пов'язана з прискореним запровадженням криптовалют і технологічними вдосконаленнями. Зокрема Ethereum, друга найбільша за капіталізацією криптовалюта, у 2022 році змінила механізм майнінгу і скоротила витрати електроенергії на 99%. Водночас на майнінг Bitcoin у 2023 році було витрачено 120 ТВт·год з 130 ТВт·год загалом по ринку.

Нідерландський експерт Алекс де Вріс, на якого посилається MEA, писав рік тому, що Ethereum замінив механізм, відомий як «доказ роботи» (proof-of-work, PoW) на «доказ ставки» (proof-of-stake, PoS). У першому випадку додавання блока до, власне, блокчейну навмисне ускладнене і потребує інтенсивних обчислень (чи то пак перебору), у другому учасники роблять ставки у криптовалюті, і система випадково обирає переможців на основі цих ставок.

Водночас реформа Ethereum навряд чи матиме наслідки для глобального споживання електроенергії, оскільки обладнанню можна знайти інше застосування — наприклад, для майнінгу інших криптовалют або для якихось ще енергоємних завдань на кшталт хмарних обчислень або штучного інтелекту. Найголовніше ж те, що найбільша криптовалютна спільнота, Bitcoin, не поспішає відмовлятися від PoW, так само як і менші на кшталт Dogecoin і Litecoin.

У жовтні 2022 року Bloomberg писав, що енергією і стійковими місцями в датацентрах, які звільнились після скорочення майнінгу Ethereum, зокрема скористались майнери Bitcoin. Етан Вера, операційний директор фірми Luxor Technologies, яка надає послуги компаніям, що займаються майнінгом як однієї, так і іншої валюти, оцінював, що 4% обчислювальних потужностей Bitcoin становили ресурси, які за два тижні перетекли від Ethereum. «Критично важливим для майнінгу Bitcoin є доступ до дешевої електроенергії, — сказав тоді виданню Метью Кімелл, аналітик цифрових активів з фірми CoinShares. — Якщо ці компанії з майнінгу Ethereum працювали з розрахунку на дешеві джерела енергії, то майнери Bitcoin з їхньою гарною капіталізацією, ймовірно, побачили можливість розширити бізнес, придбати ці активи і встановити свої машини».

Також, як йдеться у звіті MEA, зростання потреб датацентрів в електриці спричинене стрімким залученням штучного інтелекту до завдань програмування. Через запровадження ШІ в пошукових інструментах на кшталт Google енерговитрати цих інструментів можуть зрости вдесятеро. Типовий пошук у Google споживає 0,3 Вт-год, тоді як середній запит у ChatGPT — вже

2,9 Вт-год. Враховуючи, що щоденно в пошуковику робиться 9 млрд запитів, може знадобитися додатково майже 10 ТВт-год щорічно.

Якщо виходити з продажів серверів для штучного інтелекту, то на цьому ринку зараз домінує компанія NVIDIA, доля якої оцінюється у 95%. У 2023 році вона поставила 100 тис. одиниць продукції, які сумарно споживають 7,3 ТВт-год щороку. MEA очікує, що індустрія ШІ зростатиме експоненційно і у 2026 році споживатиме щонайменше вдесятеро більше енергії, ніж у 2023-му.

Ars Technica: датацентри — «пляшкове горло» розвитку ШІ

Як пише аналітикиня Каміла Ходжсон на сайті Ars Technica, електроенергія стає новим вузьким місцем, яке ставить під загрозу розвиток штучного інтелекту. Датацентри, які споживають масу енергії, створюють додаткове навантаження на електромережі у всьому світі. У квітні Ілон Маск заявив, що якщо минулого року розвиток ШІ «стримували чіпи», то нині цю передову технологію обмежує «наявність електроенергії». Торік керівник Amazon Енді Джессі вже попереджав, що «наразі нема достатньо енергії» для роботи нових сервісів генеративного ШІ.

Amazon, Microsoft і Alphabet — материнська компанія Google — вкладають мільярди доларів в обчислювальну інфраструктуру, розбудовуючи свої

ШІ-можливості, і зокрема інвестують в датацентри, проектування та будівництво яких зазвичай займає кілька років (рис. 2). Але деякі з найбільш популярних місць для спорудження таких об'єктів — наприклад, північ штату Вірджинія, — стикаються з проблемою браку потужності, що, своєю чергою, спонукає до пошуку придатних місць, які можуть забезпечити глобальне зростання ринків ЦОД.

«Попит на датацентри був завжди, але не такий, як зараз», — так висловився Панкадж Шарма, виконавчий віце-президент департаменту ЦОД компанії Schneider Electric, яка спільно з NVIDIA займається проектуванням датацентрів, оптимізованих під ШІ-навантаження. За його словами, ймовірно, нині енергосистемі бракує потужності, щоб задовольнити потреби всіх об'єктів, які необхідно буде збудувати у світі до 2030 року. А за словами Деніела Голдінга, технічного директора Appleby Strategy Group і колишнього керівника напряму планування датацентрів Google, «В якийсь момент реальність [стану] електромережі стане на шляху ШІ».

Для Amazon наявність електроенергії теж є «топ-проблемою». За словами їхньої директорки зі сталого розвитку Кари Херст, компанія «регулярно веде переговори» щодо цього питання з американськими посадовцями.

Проблема енергопостачання також викликає побоювання щодо впливу

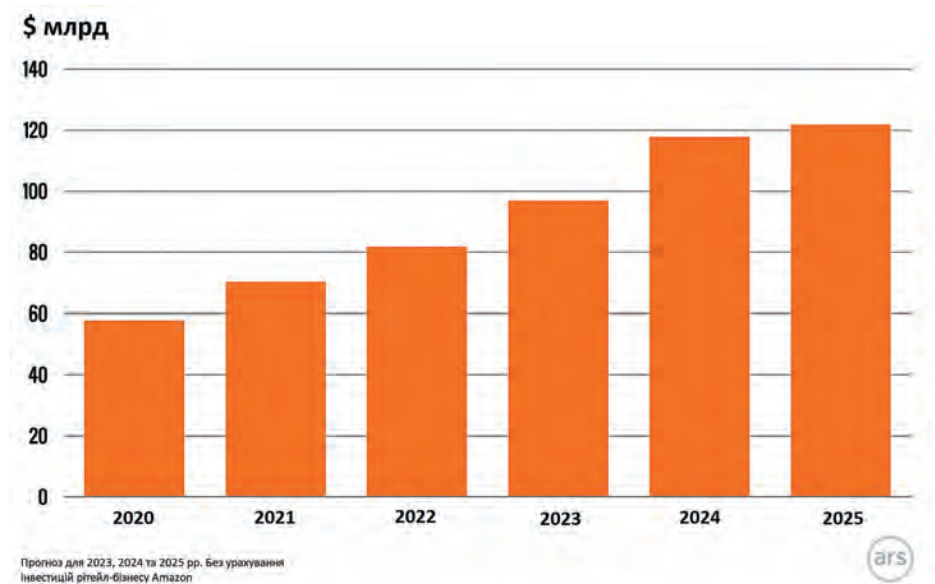


Рис. 2. Прогнозоване зростання сукупних капітальних вкладень Microsoft, Amazon та Alphabet у хмари (джерело: Bank of America Global Research via Ars Technica)

нового технологічного буму на довкілля. У відповідь на прискорення змін клімату країни всього світу запроваджують відновлювальну енергетику і електричний транспорт. Для цього багатьом країнам потрібно буде модернізувати електромережі.

За оцінками дослідницької групи Dgtl Infra, на які посилається пані Ходжсон, у 2024 році капітальні вкладення в датацентри перевищать \$225 млрд. Дженсен Хуанг, головний виконавчий директор NVIDIA, цього року сказав, що в найближчі кілька років треба буде побудувати ЦОДів на суму в \$1 трлн для підтримки генеративного ШІ, який є дуже енергоємним і обробляє велетенські обсяги інформації. Навіть якщо системи стануть більш енергоощадними, для такого зростання знадобиться величезна кількість електроенергії.

Ще до появи генеративного ШІ деякі з найбільших ринків заледве могли впоратися зі зростанням потреб. Отримання дозволів на проекти відновлюваної енергетики на кшталт вітряних ферм і підключення їх до електромережі може займати роки. Окрім того, в деяких місцях потрібно побудувати нові ЛЕП для доставки електроенергії з однієї точки в іншу.

На півночі Вірджинії, в найбільшому у світі хабі датацентрів, постачальник Dominion Energy у 2022 році призупинив підключення нових ЦОДів, щоб проаналізувати, як впоратися зі стрибком попиту і зокрема якої модернізації потребує мережа. В жовтні минулого року компанія повідомила місцевого регулятора, що фіксує «значне зростання навантаження через будівництво датацентрів» і що зростання споживання електроенергії становить «проблему».

Уряди країн намагаються обмежувати будівництво датацентрів, це зробили Нідерланди і, як йшлося вище, Ірландія. Водночас Сінгапур нещодавно зняв мораторій. Зі свого боку, компанії прагнуть будувати в інших перспективних місцях, таких як американські штати Огайо і Техас, регіони Італії та Східної Європи, Малайзії та Індії.



Рішення для структурованих кабельних мереж



МЕРЕЖЕВЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОВУДОВИ СКМ ТА ВОЛЗ

cms	CMS шафи, стійки, патч-панелі, 50 патч-корди, дрютяний лоток	
CORNING	CORNING волоконно-оптична та мідна СКМ	
Panduit	Net Key мідна СКМ, вита пара, патч-панелі	
hager	HAGER електромонтажні рішення, автоматизація	
MK	MK пластикові кабель-канали та фурнітура	
EPN	EPN мережеві компоненти кат. 5e, 6, 6A	
Hobas	HANLONG професійний інструмент для кабелю	
L&W	L&W оптичні та мідні компоненти кат. 6A, HDMI	
KINGDA	KINGDA компоненти для мідної СКМ кат. 5e, PDU	
KOPOS	KOPOS труба електротехнічна, люки	

Київ, вул. Івана Дяченка, 20-А
www.cms.ua +380 (97) 576-22-88

Водночас знайти годяще місце буває не так просто, бо енергозабезпеченість — це лише один з критеріїв. Наприклад, потрібен доступ до великих обсягів води для охолодження. «На кожному 50 місць, які я розглядаю, знайдеться, може, два, де можна будувати, — каже Голдінг. — Люди прочісують величезну кількість ділянок».

Атомні ЦОДи

Такі обставини змушують операторів розглядати варіанти створення датацентрів, які б самостійно забезпечували себе енергією або й навіть могли її продавати. Деякі придивляються і до атомних технологій. Наприкінці 2022 року аналітична компанія Omdia опублікувала матеріал про їхні переваги при застосуванні в ЦОД. Йдеться про модульні реактори (ММР) потужністю 300–500 МВт, а також про перспективну технологію мікрореакторів (порядку 10 МВт), які взагалі можуть бути портативними, як дизель-генератори.

Як йдеться в матеріалі, ММР є більш безпечними, ніж «великі» реактори, просто в силу своєї меншої потужності, меншого робочого тиску і потенційного використання природної циркуляції повітря для охолодження. Конструктори ММР прагнуть забезпечити

цикл оновлення палива у 3–7 років порівняно з 1–2 у традиційних реакторах, а деякі націлюються навіть на 40 років. Також розробляються реактори, які зможуть використовувати відпрацьоване паливо з АЕС. Omdia зазначає, що власний реактор не підійде для ЦОД середніх розмірів, але для кампусного датацентру — цілком. «Тренд до спорудження великих кампусів з потребами у понад 100 МВт робить їх ідеальними кандидатами для ММР», — сказано у звіті.

Втім, з малими реакторами не все райдужно. Американська компанія **NuScale**, яка у серпні 2022 року отримала дозвіл на будівництво ММР, прогнозувала, що електроенергія коштуватиме \$40–60 за МВт — за даними сайту The Register, це співставні цифри з вартістю газової та вітряної генерації в США (\$37/МВт). Проте у листопаді 2023-го компанія відмовилась від будівництва реактора у штаті Юта, оскільки вартість генерації підскочила до \$89/МВт, через що енергопостачальні компанії відмовились викуповувати 80% генерації. «Коли під тобою мертва коняка, треба швидко злазити», — цитує Bloomberg керівника NuScale Джон Гопкінс. (Що є поганою новиною і для нас, адже українське Міненерго співпрацює саме з NuScale у проекті будівництва ММР в Україні; ці

домовленості було підтверджено саме в листопаді під час візиту міністра Германа Галушенка до США).

Втім, проекти будівництва MMP, і то саме в датацентрах, існують. Наприклад, у жовтні минулого року та ж таки NuScale уклала договір з компанією Standard Energy, яка надає послуги майнерам криптовалют і має намір збудувати два датацентри з живленням від MMP, тож NuScale поставить для кожного по 12 реакторів потужністю у 77 МВт. Щоправда, фінансування проекту наразі немає.

Як йшлося вище, у Швеції анонсовано будівництво MMP для живлення датацентрів. Ресурс Baxtel, який публікує новини і статистику ЦОД, у вересні повідомляв, що проєкт анонсувала шведська ядерна корпорація Karnfull Next, яка планує побудувати кілька MMP на східному узбережжі країни, де компанія Studsvik — постачальник програмного забезпечення і спеціалізованих послуг для ядерної промисловості — має тестовий майданчик. У травні минулого року Karnfull замовила техніко-економічне обґрунтування проєкту, а також до кінця 2024 року сподівається закінчити оцінку питань фінансування, дозволів і продажу електроенергії.

У березні минулого року ресурс Data Center Dynamics (DCD) повідомляв, що шведський Інтернет-провайдер Bahnhof розглядає можливість розміщення MMP поблизу свого нового ЦОДу в індустріальному районі Стокгольма. Додатково електростанція має забезпечувати енергією 30 тис. домогосподарств, а також теплом оселі та офіси. За оцінками CEO компанії Джона Карлунга, проєкт може бути втілений протягом 10 років. Bahnhof має сім датацентрів у Швеції, зокрема у колишньому ядерному бункері, де резервне живлення забезпечують дизель-генератори, зняті з підводних човнів.

В США відомо про проєкт організації **Green Energy Partners (GEP)**, яка торік заявила про план будівництва 30 нових ЦОД на півночі Вірджинії. А точніше, як повідомляє DCD, між округом Лаудун, де датацентри вже використовують 20% наявної енергії, і термінальною станцією підводних кабелів на узбережжі. За умови отримання дозволів початок будівництва

планується на 2024 рік. Попервах датацентри отримуватимуть енергію від електромережі, проте, використовуючи прибутки від них, GEP планує протягом 10–15 років збудувати до шести власних MMP потужністю 250 МВт. Ці реактори вироблятимуть не лише електрику, але й окріп, з якого видобуватимуть зелений водень (рис. 3). Який, своєю чергою, можна буде використовувати на місці в резервних генераторах, продавати або змішувати з природним газом і перекачувати трубопроводами.

Використовувати енергію MMP збирається і **Microsoft**. У вересні минулого року DCD повідомляв, що компанія відкрила вакансію керівника програми розвитку ядерних технологій, завданням якого є «розроблення і втілення глобальної стратегії впровадження малих модульних реакторів (MMP) і мікрореакторів». У січні найняли на посади директора з ядерних технологій і керівника з «прискорення розробки» цих технологій відповідно Арчі Манохаран і Ерін Гендерсон, обидві до того працювали у галузі, зокрема Манохаран має досвід роботи у стартапі, який займається MMP. Що ще цікаво: у грудні DCD написав, що Microsoft шість місяців тренувала модель генеративного ШІ, яка має допомогти з проходженням процедур отримання дозволів на реактори.

Тим часом каліфорнійський стартап **Oklo** у березні цього року оголосив набір у команду для роботи з «гіперскейлерами, провайдерами послуг колокейшн і корпоративними замовниками». Компанія планує будувати власні реактори і продавати електроенергію. «Наше рішення, яке генерує чисту енергію в режимі 24/7, здатне забезпечити потужність, щоб розкрити всі переваги ШІ та хмарних обчислень», — мовиться

в оголошенні. Перший клієнт уже є: у квітні укладено угоду з оператором датацентрів Equinix на постачання енергії потужністю у 500 Вт і отримано авансовий платіж на суму \$25 млн. Сама Oklo наразі перебуває в процесі викупу компанією AltC Acquisition, співвласником і генеральним директором якої є Сем Альтман, співзасновник OpenAI.

Oklo розробляє мікрореактори на швидких нейтронах і наразі готує заявку для отримання ліцензії на установку потужністю 15 МВт; як заявляє виробник, максимальна буде 50 МВт. Як пише сайт Canary Media, який висвітлює новини чистої енергетики, реактор використовує концентроване уранове паливо. Єдиний комерційний виробник такого палива належить Росатому, проте Oklo веде переговори з іншою фірмою, яка хоче відновити збагачення урану в США, і з міністерством енергетики, щоб переробляти відпрацьоване паливо з інших експериментальних реакторів.

Не вистачає на реактор — купіть холодильник

В самих датацентрах найбільш «жадібними» є системи охолодження та власне сервери, на які припадає по 40% усіх витрат електроенергії, зазначає у своєму звіті MEA. Сюди і спрямовані зусилля для зменшення енергоспоживання. Як звертає увагу The Register, якщо використовується повітряне охолодження, то чим більша потужність серверів, тим вищий потрібен тиск повітря і більше електроенергії споживають вентилятори — до 20% усієї системи. А між тим серверні системи стають дедалі потужнішими, що знову-таки пов'язано з потребами високопродуктивних обчислень та штучного інтелекту.

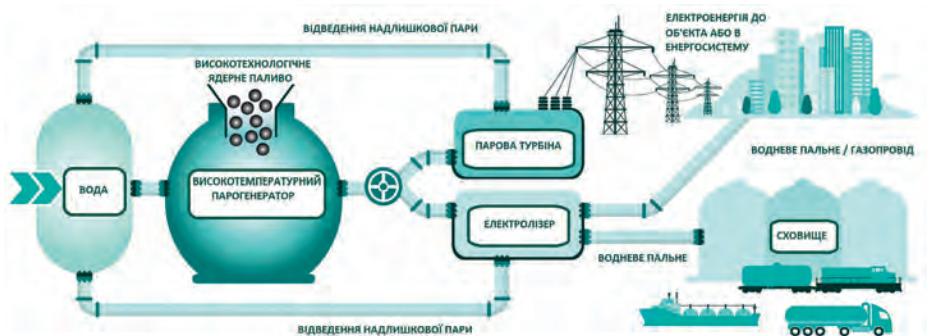


Рис. 3. Виробництво електроенергії і водню в MMP (джерело: Green Energy Partners via Data Center Dynamics)

The Register наводить оцінки компанії Carrier Ventures, яка вважає, що зараз на рідинні системи припадає приблизно 2% рішень для охолодження, які використовуються в датацентрах, і очікує зростання їхньої долі до майже 30% у 2028 році. Головним чинником цього зростання буде побудова нових (greenfield) датацентрів під навантаження ШІ. Згідно з результатами власного дослідження, яке The Register представив у квітні, опитавши понад 800 IT-фахівців, понад 38% великих компаній мають намір до 2026 року впровадити рідинне охолодження. З них 16,3% планують повністю перейти на перспективну технологію direct-to-chip (D2C), а з-поміж решти більшість хоче комбінувати іммерсивне охолодження і D2C.

Рішення D2C являють собою системи замкненого циклу, в яких воду замінює, наприклад, діелектрична рідина, а охолоджувальні пластини (випаровувачі) розташовуються безпосередньо біля процесора. MEA наводить результати групи вчених з лабораторії великого французького датацентру OVHcloud, які експериментували з рідинами різної в'язкості і досягли економії електроенергії в розрахунку на один сервер у 20% порівняно з повітряним охолодженням.

Як повідомляє сайт Data Center Frontier, низка виробників вже представила рішення для рідинного охолодження, сумісні з серверами і відеокартами NVIDIA. Наприклад, на конференції NVIDIA GTC, яка пройшла у березні, компанія ZutaCore демонструвала систему охолодження типу D2C — HyperCool, призначену для роботи з потужними процесорами, які споживають 1500 Вт і більше, і з навантаженнями високопродуктивних обчислень і штучного інтелекту. Повідомлялося, що HyperCool використовується для охолодження серверів Пентагону на базі процесорів 4-го покоління Intel Xeon, а загалом рішення сертифіковане для роботи з серверами багатьох провідних виробників.

У квітні компанія JetCool представила SmartPlate — однофазну систему охолодження D2C для відеокарт NVIDIA з використанням мікрокондуктивної рідини. Виробник стверджує, що система на 82% ефективніша за повітряне охолодження, понижує температуру процесора на 35°, використовуючи 2% охолоджуваної потужності, і зменшує енергоспоживання ШІ-кластерів на 15%.

Іншим визначальним шляхом зменшення енерговитрат є укрупнення датацентрів. У звіті під назвою *Study on Greening Cloud Computing and Electronic Communications Services and Networks* («Дослідження щодо підвищення екологічності хмарних обчислень та сервісів і мереж електронних комунікацій»), підготовленому у 2022 році на замовлення Єврокомісії, це охарактеризовано як тренд енергоефективності. Посилаючись на попередній звіт MEA *Data Centers and Data Transmission Networks* («Датацентри та мережі передавання даних»), який вийшов 4 роки тому, автори звертають увагу, що з 2010 року енергоспоживання в ЦОДах суттєво не зросло попри збільшення обчислювальних навантажень у 7,5 разів і мережевого трафіку удвадцятьєро (рис. 4). Зрозуміло, що ця картина не відображає нових трендів, пов'язаних з появою генеративного ШІ і висвітлених у новому звіті MEA. Проте важливим

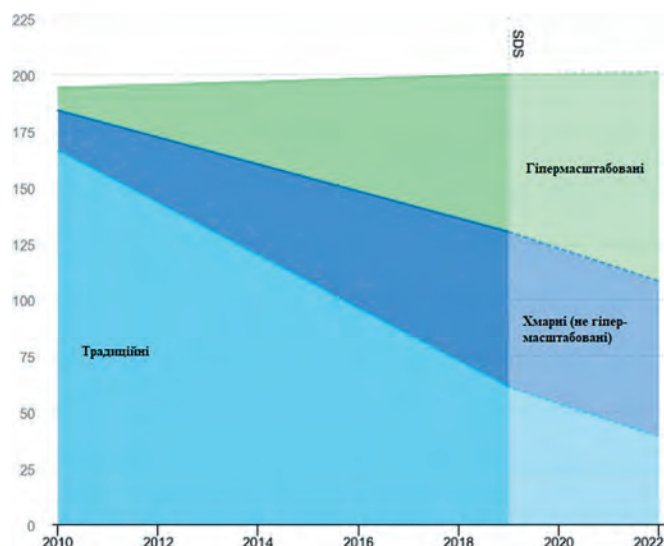


Рис. 4. Глобальне споживання електроенергії датацентрами різних типів у 2010–2022 рр. (джерело: MEA, 2020 р.)

є інший висновок: за минуле десятиліття енергоефективність датацентрів суттєво зростає.

Насамперед це є результатом переходу від невеликих ЦОД до високоефективних гіпермасштабованих (або ж класу гіперскейл). Такі датацентри прагнуть забезпечувати оптимальне використання процесорного часу, скорочуючи періоди простою завдяки кращому плануванню робочих навантажень. Як зазначає аналітична компанія Precedence Research, у більшості датацентрів експлуатація систем клімат-контролю обходиться дорожче за експлуатацію, власне, комп'ютерів. Гіпермасштабована архітектура оптимізує потоки повітря в будівлі, забезпечуючи рух гарячого повітря в одному напрямку, а також часто підтримує рекуперацію тепла для його повторного використання. А збалансований розподіл навантаження між серверами запобігає їх перегріванню.

За даними Statista, з 2016 по 2019 рр. глобальні інвестиції у гіпермасштабовані датацентри більш ніж подвоїлись (з €13 млрд до більш ніж €29 млрд). Найбільшими інвесторами є Amazon, Google, Microsoft, Facebook та Apple. А Precedence Research прогнозує, що світовий ринок гіпермасштабованих датацентрів — обладнання і послуг — в перспективі до 2032 року зростатиме в темпі 27,9% щорічно і збільшиться у понад 10 разів (\$935,3 млрд проти \$80,16 млрд у 2022-му).

У більш віддаленій перспективі на заміну традиційним комп'ютерам прийдуть квантові. Вони потребують значно радикальнішого охолодження — приблизно до абсолютного нуля — і використовують алгоритми корекції помилок, які також є енерговитратними. Проте, хоча операція квантової логіки споживає більше енергії, ніж у класичній логіці, за рахунок швидшої роботи квантовий комп'ютер загалом споживатиме менше. Принаймні в теорії.

А можливо, штучний інтелект допоможе здійснити квантову революцію і вирішити проблему енергоспоживання, яку сам і створив.

Василь ТКАЧЕНКО, МТБ