

Чанишев Р. І., кандидат юридичних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних технологій
Національного університету «Одеська юридична академія»,
ORCID: 0000-0002-3592-7223

ДЕЯКІ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЦЕНТРІВ ОБРОБКИ ДАНИХ

У статті аналізуються проблеми, пов'язані з розвитком інформаційних технологій – хмарних обчислень і систем штучного інтелекту, який призвів до масового будівництва центрів обробки даних (далі – ЦОД) та появи пов'язаних із цим соціально-економічних та екологічних проблем, як-то: проблеми з нестачею електроенергії для центрів обробки даних (data centre) і нерівномірним розподілом її ресурсів, проблема з нестерпним для людської психіки шумом, створюваним системами охолодження таких центрів, вичерпанням водних ресурсів, необхідних для охолодження дата-центрів та ін. Зазначені проблеми, з огляду на їхню новизну, не знайшли поки що належного розв'язання і практично не були досліджені в наукових працях.

Розглядаються проблеми організації, проектування та будівництва ЦОД, зокрема й правові, та пов'язані з цим соціальні, економічні та екологічні проблеми.

Відзначається, що наявні складнощі та проблеми, що виникли, пов'язані з тим, що місцева влада не змогла оцінити можливі проблеми з експлуатацією ЦОД і видала дозволу на їхнє будівництво, прагнучи отримати фінансову вигоду для економіки регіону.

Наголошується на необхідності невідкладного розроблення комплексу заходів, зокрема й правових, для вирішення і запобігання соціально-економічних та екологічних проблем, які вже явно намітилися, оскільки вже в найближчому майбутньому кількість і потужності центрів обробки даних зростуть на порядок.

Ключові слова: хмарні технології, розвиток хмарних обчислень і штучного інтелекту, ЦОД, соціальні проблеми, економічні проблеми, екологічні проблеми, методи вирішення.

Chanyshev R. I. Some socio-economic aspects of the use of data centers

The article analyses the problems associated with the development of information technologies – cloud computing and artificial intelligence systems, which resulted in the mass construction of data processing centres. Such construction has led to the emergence of a number of socio-economic and environmental problems, such as: the problem with the lack of electricity for data centres and the uneven distribution of its resources, the problem with the noise created by the cooling systems of data centres, the problem of exhaustion of water resources required for cooling data centres, etc.

These problems, given their novelty, have not yet found a proper solution and have not been practically investigated in scientific papers. The analysis of publications related to this topic shows that the main focus of researchers is on the study of the impact of information and communication technologies on the socio-economic development of society and on the life, education and social interactions of people. Economic issues are considered in terms of the impact of data centre construction on local economies and the revenue generation by governments and local authorities from the construction and operation of data centres. At the same time, the social and economic problems arising from the operation of data centres are not considered enough because of their recent emergence.

This article discusses the problems of organisation, design and construction of data centres, including legal issues, and the associated social, economic and environmental problems. If at the time of the emergence of cloud computing technologies (in fact, since 2012) data centres were located on sites outside major population centres and had no problems with power supply and heat dissipation from the equipment, then nowadays data centres are built within cities or in close proximity to population centres. In this case, there are significant problems with power supply and ecology, in some cases leading to redistribution of capacities in favour of data centres at the expense of infringement of interests of the population. In addition, the rejection of water cooling of data centres for environmental reasons and the switch to air cooling has created the problem of unbearable noise emitted by air-cooled data centre systems, which has led to increased social tension and mass protests by local residents.

The problem is aggravated by the fact that, according to analysts, the total number of data centers in the near future may increase by 2.5 times, which will inevitably lead to a sharp increase in social tension, mass protests and undesirable economic consequences.

This problem is particularly important due to its worldwide nature, since data centers are being built in all regions of the planet.

It is noted that the existing difficulties and problems arise due to the fact that local authorities failed to assess the possible problems with the operation of data centres and issued permits for their construction in order to gain financial benefits for the economy of the region.

This problem is of an urgent nature and requires measures, including legislative measures, which could resolve the contradiction between the need to build data centres (and additional power plants to supply them, including nuclear power plants)

and the interests of people living in the immediate vicinity of the data centres. In addition, it is mandatory to take into account the impact of the consequences of such construction on the environment. There are also known cases of destruction of cultural and historical heritage during the construction and operation of data centres.

An important point is the issue of security associated with the possible consequences of terrorist actions (cessation of the functioning of vital information systems, contamination of the territory with toxic and radioactive substances, shutdown of power supply to the population).

The article emphasises the need to urgently develop a set of measures, including legal ones, to address and prevent socio-economic and environmental problems.

Key words: cloud technologies, development of cloud computing and artificial intelligence, data centres, social problems, economic problems, environmental problems, methods of solution.

Постановка проблеми. Прямим наслідком широкого впровадження хмарних технологій і бум розвитку систем штучного інтелекту, що розпочався останнім часом, стало масове будівництво центрів обробки даних (далі – ЦОД). Якщо за часів виникнення технологій хмарних обчислень (фактично, починаючи з 2012 року) ЦОД розміщувалися на майданчиках поза великими населеними пунктами та не мали проблем з електропостачанням і відведенням тепла від обладнання, то на теперішній час будівництво ЦОД ведеться в межах міст або в безпосередній близькості від населених пунктів [1, 2]. При цьому виникають суттєві проблеми з електропостачанням та екологією. Крім того, став проблемою і шум, який видають численні ЦОД, що призвело до зростання соціальної напруженості та масових протестів місцевих жителів [3].

До того ж проблеми з електропостачанням призводять до перерозподілу потужностей на користь ЦОД за рахунок обмеження інтересів населення [4].

Проблему посилює те, що в найближчій перспективі кількість ЦОД може зрости на порядок [5], що неминуче призведе до різкого зростання соціальної напруженості, масових протестів і небажаних економічних наслідків.

Особливої важливості цій проблемі надає її всесвітній характер, оскільки будівництво ЦОД ведеться в усіх регіонах планети [6].

Зазначена проблема має нагальний характер і потребує вжиття заходів, зокрема й законодавчого характеру, які могли б розв'язати протиріччя між необхідністю будівництва ЦОД (і додаткових електростанцій для їхнього електропостачання, зокрема й атомних) та інтересами людей, що мешкають у безпосередній близькості від ЦОД. Крім того, обов'язковим є врахування впливу наслідків такого будівництва на екологію.

Важливим моментом є й питання безпеки, пов'язане з можливими наслідками терористичних дій (припинення функціонування життєво важливих інформаційних систем, забруднення території токсичними та радіоактивними речовинами, відключення електропостачання для населення).

Відомі й випадки знищення культурно-історичної спадщини під час будівництва та експлуатації ЦОД [7].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз публікацій, пов'язаних з цією темою, показує, що основний акцент дослідники роблять на дослідженні впливу інформаційних і комунікаційних технологій на соціально-економічний розвиток суспільства [8] і на життя, освіту та соціальні взаємодії людей. Економічні проблеми розглядаються з погляду впливу будівництва центрів обробки даних на місцеву економіку та отримання доходу урядами і місцевими органами влади від будівництва та експлуатації ЦОД. Водночас проблеми соціального та економічного характеру, що виникають під час експлуатації ЦОД, фактично не розглядаються через те, що вони виникли тільки останнім часом.

Ця тема, зважаючи на її новизну, ще не знайшла свого відображення в наукових публікаціях, а інформація із зазначеної проблематики практично повністю має новинний характер у вигляді опублікованих звітів різних аналітичних агентств [9] і у форматі науково-популярних статей.

Метою цієї статті є аналіз проблем, пов'язаних із прискореним розвитком хмарних технологій і систем штучного інтелекту, що супроводжується масовим будівництвом центрів оброблення даних, яке, своєю чергою, призвело до виникнення непередбачуваних проблем соціального та економічного характеру.

Виклад основного матеріалу. Повсюдне впровадження хмарних технологій і швидкий розвиток систем штучного інтелекту призвело до масового будівництва центрів обробки даних по всьому світу. За даними міжнародної консалтингової компанії JLL, попит на послуги ЦОД перебуває на рекордно високому рівні. За словами Карла Бітса (Karl Beets), старшого менеджера компанії JLL, «розвиток центрів оброблення даних поширюватиметься скрізь, де є достатньо енергії та доступної землі» За словами керівника національних центрів обробки даних у JLL Прії Веламаканні (Priya Velamakanni), «брак вільної землі призвів до створення багатоповерхових центрів обробки даних» [10].

В іншому звіті JLL наводяться слова представника JLL в Chicago з питань брокерських послуг у сфері центрів обробки даних, Енді Квенгроса (Andy Cvangros): «Попит, як і раніше, перебуває на рекордно високому рівні, а зростання ЦОД швидко розширюється з основних ринків у пошуках потужності... водночас більша частина потужностей, що вводяться в експлуатацію у 2023 році, вже зана в попередню оренду».

Крім того, потужність, споживана всіма ЦОД у США, вже перевищує 5,3 ГВт, що достатньо для забезпечення електроенергією всіх житлових будинків у районі Сан-Франциско протягом одного року. При цьому

у звіті консалтингової компанії Newmark, дається прогноз, що до кінця десятиліття енергоспоживання центрів обробки даних у США досягне 35 ГВт. Високі темпи будівництва ЦОД вже призвели до дефіциту в США електрогенераторів, трансформаторів та іншого електрообладнання, що позначилося на вартості будівництва [11].

Перші ЦОД переважно будували на вільних майданчиках осторонь від великих населених пунктів, у місцях, де не було проблем з електропостачанням, водою та відведенням тепла, у районах із переважно холодним кліматом. Активне будівництво ЦОД, наприклад, велося в Ісландії, енергетична система якої використовує геотермальні електростанції і ГЕС і вважається другою у світі за надійністю, при цьому і вартість електроенергії енергії невисока. Пік будівництва ЦОД в Ісландії припав на кінець 2010-х [12].

Після початку пандемії COVID-19 і повсюдного переходу на віддалені методи роботи і навчання, хмарні технології стали набагато активніше використовуватися як компаніями, так і приватними користувачами. Після закінчення пандемії пішов бум використання систем штучного інтелекту. Усе це призвело до того, що будівництво нових ЦОД почалося скрізь, де можна було отримати дозвіл у місцевої влади.

Проблема будівництва нових ЦОД посилюється тим, що будувати їх можна тільки в тих місцях, де є відповідні лінії зв'язку, підключені до магістральних мереж Інтернет (Internet backbone). При цьому вкрай бажана фізична близькість ЦОД до місць розташування основної кількості споживачів їхніх послуг (оскільки швидкість передавання даних лініями зв'язку обмежена, а великі затримки між надсиланням запиту й отриманням відповіді від сервера неприйнятні для користувачів).

Брак відповідних майданчиків для будівництва ЦОД призводить до непередбачених соціальних конфліктів. Так, під час будівництва нового ЦОД Microsoft в окрузі Мекленберг у штаті Вірджинія під час підготовки будівельного майданчика було виявлено старий цвинтар, на якому були поховані афроамериканці, після чого влада округу звернулася за консультацією до археологів.

Після проведеного дослідження археологи дійшли висновку, що місце поховання має бути занесено до Національного реєстру історичних місць, а будівництво на цьому майданчику має бути заборонено. Однак Департамент історичних ресурсів штату ухвалив рішення, за яким поховання мають бути перенесені в інше місце, а будівництво продовжено [7].

Як уже згадувалося вище, почалося будівництво багатоповерхових ЦОД, відносно невеликі центри обробки даних стали розмішувати всередині будівель у центральній частині міст. Наприклад, великий ЦОД CoreSite LA1 розташований у самому центрі Лос-Анджелеса [1], а ЦОД DataBank LGA1 розташовується в хмарочосі даунтауна Нью-Йорка [2]. Таке розміщення ЦОД, крім усього іншого, дає змогу скоротити витрати на прокладення ліній зв'язку та електропостачання у зв'язку з великою щільністю населення. У Японії, де щільність населення дуже висока, це призвело до того, що більше половини всіх японських ЦОД розташовано в Токіо.

За даними Synergy Research Group, до кінця 2026 року в експлуатації буде близько 1200 ЦОД. З них 53% ЦОД розташовані в США, приблизно 16% ЦОД розташовані в Європі, 11% – у країнах Азіатсько-Тихоокеанського регіону (APAC), 15% – у Китаї, і тільки 5% – у решті світу.

Одній тільки великій трійці хмарних провайдерів (для позначення таких компаній зазвичай використовується термін «гіперскейлери», від «hyperscaler») – компаніям Amazon, Google і Microsoft належить понад 400 великих ЦОД.

З іншого боку, британська агенція нерухомості Savills, ґрунтуючись на даних, опублікованих TeleGeography, зазначає, що за її оцінками, тільки в Європі для задоволення зростаючого попиту кількість центрів обробки даних має збільшитися майже в 2,5 рази за рахунок будівництва понад 3000 нових ЦОД [13]. При цьому істотним фактором стає можливість підключення нових ЦОД до наявних ліній зв'язку. У деяких випадках така можливість має більший пріоритет, ніж вартість оренди землі та вартість електроенергії.

Але все ж основною проблемою, пов'язаною з ЦОД, є проблема нестачі електроенергії. Будівництво нових ЦОД стримується дефіцитом електроенергії та відповідним зростанням цін на неї. Так, вартість електроенергії в Сінгапурі вища вчетверо порівняно з її вартістю в Чикаго, де дефіциту електроенергії поки що немає [14].

За останній час потужність великих ЦОД збільшилася від 30 МВт до 60-90 МВт, і в перспективі вона буде тільки зростати. Одні тільки ЦОД компанії Apple у 2023 році витратили понад 2,3 ТВт-г електроенергії, а сумарна потужність ЦОД компанії Microsoft перевищила потужність, споживану такою країною, як Португалія.

Ця проблема має системний характер і є спільною для всіх регіонів розміщення ЦОД – і в США, і в Європі, і в Азії. Крім того, проблема посилюється тим, що в багатьох країнах законодавство вимагає переходу від традиційних способів виробництва електроенергії до використання поновлюваних джерел енергії.

Наприклад, в Європі діє система торгівлі квотами на викиди парникових газів (EU ETS), що призводить до необхідності вжиття заходів щодо зниження викидів вуглецю в атмосферу під час експлуатації ЦОД.

Подібні ситуації можуть негативно вплинути на можливість використання в повному обсязі систем штучного інтелекту в окремих регіонах світу, з абсолютно непередбачуваними сьогодні соціально-економічними наслідками. Так, Рене Хаас, генеральний директор компанії ARM, заявив, що вже у 2030 році в США для забезпечення роботи систем штучного інтелекту може знадобитися до 25% всієї електроенергії, що генерується в країні [15].

При цьому робляться спроби використовувати штучний інтелект для оптимізації енерговитрат на забезпечення роботи систем штучного інтелекту шляхом його впровадження в механізми контролю за енергоспоживанням. На жаль, це не дасть змоги вирішувати проблему повністю.

Дефіцит електроенергії може призвести до зростання соціальної напруженості в суспільстві. Так, у Великій Британії, де найближчим часом планується будівництво близько 300 нових ЦОД, у 2022 році вибухнув скандал після того, як з'ясувалося, що будівництво житла в Західному Лондоні призупинено, оскільки вся доступна на місцевих електропідстанціях потужність була зарезервована для ЦОД.

Адміністрація Великого Лондона (GLA) попередила забудовників про те, що реалізація нових проєктів будівництва житлових будинків може бути припинена до 2035 року, оскільки знадобиться більше ніж 10 років для того, щоб збільшити потужності місцевих електромереж, адже тільки один ЦОД споживає стільки ж електроенергії, скільки може споживати кілька тисяч житлових будинків.

Проблема полягає в тому, що цей район виявився дуже привабливим для будівництва нових ЦОД через розвинену інфраструктуру волоконно-оптичних ліній зв'язку, що вже існує в ньому [4].

Як один із варіантів розв'язання проблеми електропостачання розглядають варіант використання малих модульних ядерних реакторів (SMR), що розміщуються в безпосередній близькості від майданчиків ЦОД.

Модульні реактори розглядаються як дешевша, компактніша і швидко впроваджувана альтернатива традиційним АЕС. SMR на швидких нейтронах мають потужність до 15 МВт кожен і здатні працювати до 10 років без перезарядки, що дасть змогу ЦОД працювати без підключення до магістральних електромереж [16].

Крім того, подібні рішення просуваються як «екологічні», оскільки сприяють зниженню викидів вуглецю в атмосферу.

Такі думки видаються вельми сумнівними, оскільки SMR генерують у середньому в 35 разів більше радіоактивних відходів, ніж великі атомні електростанції. При цьому атомна енергія не є відновлюваною.

Використання SMR може вирішити проблему з електропостачанням ЦОД, але при цьому з'являються значні ризики, пов'язані з проблемою забезпечення безпеки таких ядерних реакторів. До того ж масове будівництво SMR майже неминуче може призвести до масових протестів місцевого населення.

Тим не менш, корпорація Microsoft планує використовувати SMR для забезпечення електроенергією своїх ЦОД [17].

Оскільки громадська думка після низки катастроф з АЕС здебільшого налаштована проти використання атомних електростанцій, особливо тих, що розташовані в безпосередній близькості – корпорація Microsoft продовжує спроби створення альтернативних систем електропостачання.

Компанія Google для електропостачання двох своїх ЦОД у Неваді, біля міст Лас-Вегас і Ріно, використовувала іншу «зелену» технологію – дата центр отримує електроенергію від геотермальної електростанції потужністю 3,5 МВт. Вода в цій замкнутій системі використовується повторно, що особливо важливо в напівпустельній Неваді [18].

Крім нестачі електроенергії, сучасні ЦОД зіткнулися з проблемою охолодження. Після початку масового будівництва ЦОД у країнах із теплим і спекотним кліматом питання «Як і чим охолоджувати ЦОД?» очікувано стало вельми актуальним. Так, 10 липня 2022 року, в лондонському ЦОД Google через аномально високу спеку (+40°C) стався збій у системі охолодження. У результаті зупинки серверів деякі сервіси Google стали тимчасово недоступні для користувачів. Крім того, аналогічні проблеми виникли і в ЦОД компаній Oracle і Amazon.

Співробітники цих ЦОД були змушені вжити термінових заходів, поливаючи водою зі шлангів встановлені на даху зовнішні модулі систем кондиціонування [19].

Ефективне охолодження обладнання ЦОД можна забезпечити при використанні систем водяного охолодження. Однак у цьому випадку компанії стикаються з проблемою нестачі прісної води. Крім того, вода, використана для охолодження ЦОД, забруднюється хімічними речовинами (для запобігання появи вапняного нальоту до води для охолодження додаються спеціальні хімічні речовини, без видалення яких вода стає непридатною як для повторного охолодження, так і для використання в якості питної). Скидання такої води в природні водойми призводить до значного забруднення навколишнього середовища.

Проблему поглиблює той факт, що наявна інфраструктура міст не призначена для перероблення великої кількості стоків, що надходять від ЦОД із водяним охолодженням.

У рамках судового процесу 2022 року між газетою The Oregonian і владою американського міста Далласа (штат Орегон), було виявлено й оприлюднено факт того, що впродовж 2021 року ЦОД компанії Google у Далласі витратив приблизно 1,2 млрд літрів питної води, що становить понад 29% усієї води, використаної в місті з населенням у 14 583 особи. За даними The Oregonian, споживання води ЦОД Google у Далласі майже потроїлося за останні п'ять років і зростатиме надалі, оскільки Google планує збудувати в місті ще два ЦОД.

При цьому необхідно враховувати, що місто Даллас розташоване в посушливому регіоні (1856 року місто було перенесено більш ніж на милю на південь через брак води). У зв'язку з цим виконавчий директор некомерційної правозахисної групи WaterWatch Джон ДеВой (John DeVoe) заявив, що збільшення споживання ЦОД води вдвічі або втричі впродовж наступного десятиліття може призвести до обміління місцевої річки та загибелі фауни, яка мешкає в цій річці. Зі свого боку, компанія Google уклала контракт із владою

міста, за яким компанія зобов'язується виділити \$28,5 млн на модернізацію систем постачання води (завдяки використанню підводних джерел води).

При цьому слід зазначити, що вищеписаний факт було виявлено випадково, оскільки технологічні компанії досить неохоче діляться такою інформацією. Uptime Institute, що займається сертифікацією галузевого рівня в галузях проектування, будівництва та експлуатації центрів оброблення даних, провів відповідне дослідження, внаслідок якого з'ясувалося, що тільки половина компаній повідомляє про обсяги використаної води або про викиди вуглекислого газу під час роботи ЦОД [20].

Практично в такій самій ситуації опинилася і компанія Microsoft, коли з'ясувалося, що три ЦОД із п'яти запланованих до побудови в місті Фінікс (штат Аризона), використовують водяне охолодження. При цьому потужності установок з переробки стічних вод у цьому міському агломераті з населенням в 1,6 мільйона осіб (на два порядки більшому, ніж населення згаданого вище Далласу) виявилось явно недостатньо.

З'ясувалося, що Microsoft не вжила достатніх заходів для зниження обсягу розчинених у цій воді хімічних речовин, не створила систему контролю якості скидів і не передбачила місця для зберігання відходів.

Як компенсацію компанія Microsoft пообіцяла міській владі виділити 40 млн доларів на реконструкцію очисних споруд міста і не використовувати водяне охолодження для двох нових споруджуваних ЦОД. У рамках угоди Microsoft зобов'язалася завершити реконструкцію до кінця серпня 2024 року, а в разі перенесення термінів на пізніший час – зберігати стічні води в ємностях на території ЦОД. При цьому нові ЦОД використовуватимуть повітряне охолодження.

Як було згадано вище, Microsoft зобов'язалася використовувати повітряне охолодження замість водяного. Для повітряного охолодження використовується велика кількість вентиляторів, зазвичай розміщених на дахах будівель ЦОД. Але, як виявилось, і повітряне охолодження не панацея, оскільки створює ще більше проблем, уже не економічного, а соціального характеру.

Більше третини ЦОД у США розташовані в одному штаті – Північній Вірджинії. ЦОД у цьому штаті більше, ніж у Європі та Китаї. Така концентрація ЦОД в одному штаті пов'язана з особливостями законодавства штату, що надають значні податкові пільги власникам ЦОД.

Несподіваним наслідком такої концентрації ЦОД в обмеженому регіоні стали соціальні проблеми – домовласники і громадські активісти округу Принс-Вільям (Prince William County) в Північній Вірджинії (США) стали подавати масові скарги на «катастрофічний» шум, що видається місцевими ЦОД, які належать компанії Amazon. Причому вночі шум тільки посилювався, досягаючи рівня в 65 дБ. За словами активістів, безперервний шум був спричинений цілодобовою роботою систем повітряного охолодження на дахах ЦОД, щодо усунення якого не вживають жодних заходів. Водночас місцеві жителі скаржаться на шум, що не дає можливості заснути та на проблеми, що виникли не тільки з їхнім здоров'ям, а й зі здоров'ям домашніх тварин.

Жителям довелося звукоізолювати будинки, а деякі з них почали планувати переїзд. До кінця травня наглядова рада округу зв'язалася з керівництвом Amazon, але в підсумку переговори за участю експертів з обох сторін розтягнулися більш ніж на рік.

Після тривалих протестів жителів Північної Вірджинії компанія Amazon була змушена розробити заходи щодо зниження шуму від систем вентиляції. Роботи з модернізації обладнання зайняли чотири місяці, і обійшлися компанії в 30 млн доларів. При цьому місцеві жителі продовжують скаржитися на неприємний виск, що виходить з вентиляційних прорізів на стінах будівель. [21].

Аналогічні скарги в Аризоні 2018 року призвели до рішення місцевої влади заборонити будівництво нових ЦОД у цьому штаті [3].

З огляду на ступінь важливості проблеми, компанія Microsoft провела експеримент із розміщення ЦОД на дні моря (т.з. Microsoft Project Natick).

Такі технології передбачають розміщення серверів усередині циліндричного водонепроникного корпусу, до якого з берега підводяться кабелі зв'язку та електроживлення. Охолодження корпусу і серверів, що знаходяться в ньому, здійснюється шляхом природної циркуляції морської води навколо корпусу підводного ЦОД (далі – ПЦОД). У разі необхідності обслуговування або ремонту серверів корпус ПЦОД піднімається на поверхню за допомогою спеціального судна.

У поясненні до завдань проекту Microsoft зазначає, що більше половини населення світу живе відносно недалеко від морського узбережжя, що дасть змогу передавати дані від ПЦОД до споживачів із високою швидкістю. При цьому одночасно вирішуються проблеми з розміщенням, охолодженням і шумом, а проблема з електропостачанням може бути вирішена за допомогою приливних електростанцій або інших джерел відновлюваної енергії [22].

Експеримент Microsoft Project Natick виявився вдалим, уже в 2023 року китайська компанія Highlander побудувала перший повноцінний ЦОД, повністю розміщений на дні моря [23].

Однак залишається незрозумілим, як підводні ЦОД впливатимуть на екологію, якщо таких ЦОД буде побудовано багато. Повноцінних досліджень на цю тему ще не проводили, оскільки ПЦОД щойно з'явилися і, фактично, все ще є експериментальними розробками.

Крім того, існує варіант будівництва плаваючих ЦОД (обладнання яких розміщується на спеціальних баржах, розташованих біля берега моря). Плаваючі, як і підводні, ЦОД досить мобільні, що дає змогу

розгорнути їх у будь-якій точці світу, де є необхідна інфраструктура (електропостачання та підводні кабелі зв'язку). Платити за купівлю або оренду землі (а це дуже велика стаття витрат) при цьому теж не потрібно.

У квітні 2012 року компанія Nautilus Data Technologies ввела в експлуатацію свій перший плаваючий надводний ЦОД (далі – НЦОД) під назвою «Stockton 1» в порту Стоктон (штат Каліфорнія), розташованому на річці Сан-Хоакін. Охолодження НЦОД здійснюється річковою водою, що закачується прямо з річки. Про те, куди скидаються стоки, не повідомляється [24].

Існують і більш екзотичні проєкти розміщення ЦОД – наприклад, проєкти розміщення ЦОД на орбітальних космічних станціях.

Спочатку розміщувати невеликі ЦОД у космосі збиралися для оперативного опрацювання даних, що надходять із космічних апаратів. Однак у зв'язку зі зростанням кількості ЦОД у світі та Європі, в Європейському Союзі задумалися про принципову можливість і доцільність створення ЦОД, розміщених на навколземній орбіті (далі – ОЦОД). Очікується, що розміщення ЦОД на орбіті дасть змогу зменшити вуглецеві викиди, оскільки електрика для них вироблятиметься за допомогою космічних сонячних фотоелектричних панелей, технологія виготовлення і застосування яких добре відпрацьована, бо вони давно використовуються в космонавтиці. Обмін даними з наземними ЦОД здійснюватиметься за допомогою оптичного зв'язку.

Цей проєкт може допомогти досягти мети Зеленого курсу Європи щодо досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року.

Крім того, ОЦОД можуть забезпечити більшу безпеку збережених на їхніх серверах даних, оскільки фізичний доступ до серверів отримати буде дуже складно. Можливо, що саме міркування безпеки є головним завданням.

У листопаді 2022 р. Європейська комісія обрала для проведення техніко-економічного обґрунтування доцільності створення європейських ОЦОД компанію Thales Alenia Space, що спеціалізується на розробці інформаційних систем для аерокосмічного сектору [25].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. З огляду на вищезазначене, можна зробити такі висновки:

1. Зростання кількості ЦОД буде продовжуватися і далі.
 2. З урахуванням того, що великі корпорації володіють досить великими фінансовими ресурсами, можна спрогнозувати появу і зростання корупційної складової (підкуп місцевої влади в тій чи іншій формі, наприклад, у вигляді асигнувань на будівництво або модернізацію місцевих систем водопостачання).
 3. Прямим наслідком цього зростання стануть проблеми з електропостачанням, прісною водою та шумом, що неминуче посилять соціальну напруженість у суспільстві.
 4. Для запобігання проблемам, що виникають, нові ЦОД будуватимуться в тих місцях, де буде найлегше отримати дозвіл на будівництво не тільки самих ЦОД, а й електростанцій для них, зокрема й атомних. При цьому проблема швидкості доступу до обчислювальних ресурсів може бути вирішена за допомогою супутникового зв'язку (приклад успішної експлуатації системи «Starlink» доводить можливість практичної реалізації такого методу). Досить імовірно, що можливість такого зв'язку буде розширено за допомогою орбітальних ЦОД.
 5. Підводні ЦОД, з великою часткою ймовірності, отримають широке розповсюдження, оскільки в них практично відсутні проблеми з охолодженням і шумом, і їх будуть створюватимуть скрізь, де є високошвидкісні канали зв'язку та можливість будівництва електростанцій, зокрема й «зелених». При цьому можливе виникнення проблем з екологією, зокрема й таких, передбачити які сьогодні неможливо.
 6. Навпаки, плаваючі ЦОД отримають обмежене поширення, оскільки кількість зручних стоянок для суден обмежена. Розміщувати ж такі ЦОД у відкритому морі не можна через погодні умови (шторми).
- Таким чином, необхідно зробити висновок про те, що настав час вжиття заходів, здатних захистити інтереси місцевого населення, зокрема на законодавчому рівні встановити певні обмеження щодо частки ресурсів (електроенергії, водних ресурсів, земельних ділянок та ін.), які можуть бути виділені для будівництва та експлуатації ЦОД. При цьому слід звернути особливу увагу на можливий вплив такого будівництва на екологію.

Список використаних джерел:

1. CoreSite LA1 – One Wilshire Data Center URL: <https://www.coresite.com/data-center/la1-los-angeles-ca>.
2. Andrew Nusca, Jonathan Vanian, Barb Darrow And Robert Hackett. These are the buildings that make up the ‘cloud’ URL: <https://fortune.com/2015/06/08/cloud-computing-buildings>.
3. Peter Judge. Prince William residents complain of “catastrophic noise” from data centers. URL: <http://surl.li/tumkr>.
4. Peter Judge. Report: Home building to halt in West London, due to data center power demands URL: <http://surl.li/tyhip>.
5. Dan Robinson. Too many bytes and not enough bricks for datacenters URL: <http://surl.li/tyhjq>.
6. Virginia Still. Has More Hyperscale Data Center Capacity Than Either Europe or China. URL: <http://surl.li/tumkm>.
7. Sebastian Moss. Historic black cemetery was moved for Microsoft data center in Virginia URL: <http://surl.li/tyhkv>.
8. Narcyz Roztocki, Piotr Soja & Heinz Roland Weistroffer. (2019) The role of information and communication technologies in socioeconomic development: towards a multi-dimensional framework, Information Technology for Development, 25:2, 171-183, DOI: 10.1080/02681102.2019.1596654.

-
9. Executive summary Uptime Intelligence report: March 2024 Annual outage analysis 2024 URL: <http://surl.li/tyhnm>.
 10. Kari Beets. North America Data Center Report The quest for power moves development into new frontiers. URL: <http://surl.li/tumfz>.
 11. Niva Yadav. AI demand and limited capacity drive US data center prices up 19% URL: <http://surl.li/tyigz>.
 12. Tracy Mayor. Data centers in Iceland? Yes, really! URL: <http://surl.li/tyjgm>.
 13. Savills: Pipeline of data centers needs to more than double by 2025 to meet demand for storage in Europe URL: <http://surl.li/tyjmh>.
 14. Andy Patrizio. Power availability stymies data center growth URL: <http://surl.li/tykfb>.
 15. Matthew Connatser. Arm CEO warns AI's power appetite could devour 25% of US electricity by 2030 URL: <http://surl.li/tykgs>.
 16. Sebastian Moss. Sam Altman-backed nuclear reactor firm Oklo hiring data center lead as it looks to power "AI and cloud computing". URL: <http://surl.li/tuyvd>.
 17. Sebastian Moss. Microsoft hires Archie Manoharan as director of nuclear technologies, joins from micro modular reactor firm URL: <http://surl.li/tykmx>.
 18. Justine Calma. Google's new geothermal energy project is up and running URL: <http://surl.li/tykun>.
 19. Olivia Solon. Hoses on Roofs Are Keeping UK's Data Centers Cool URL: <http://surl.li/tzqov>.
 20. Dan Robinson. Google datacenters use 'a quarter of all water' in one US city URL: <http://surl.li/tztms>.
 21. Amazon Tones Down Its Data Center Noise After Residents Sound the Alarm. URL: <http://surl.li/tummm>.
 22. John Roach. Under the sea, Microsoft tests a datacenter that's quick to deploy, could provide internet connectivity for years URL: <http://surl.li/tzwsz>.
 23. Peter Judge. China's Highlander completes first commercial underwater data center, looks for exports. URL: <http://surl.li/tuysj>.
 24. Dan Swinhoe. Nautilus Data Technologies launches first floating data center URL: <http://surl.li/tzxeq>.
 25. Ascend: Thales Alenia space to lead European feasibility study for data centers in space. URL: <http://surl.li/tuytg>.

References:

1. CoreSite LA1 – One Wilshire Data Center URL: <https://www.coresite.com/data-center/la1-los-angeles-ca>.
2. Andrew Nusca, Jonathan Vanian, Barb Darrow and Robert Hackett (2015) These are the buildings that make up the 'cloud' URL: <https://fortune.com/2015/06/08/cloud-computing-buildings>.
3. Peter Judge. Prince William residents complain of "catastrophic noise" from data centers. URL: <http://surl.li/tumkr>.
4. Peter Judge. Report: Home building to halt in West London, due to data center power demands URL: <http://surl.li/tyhip>.
5. Dan Robinson. Too many bytes and not enough bricks for datacenters URL: <http://surl.li/tyhjq>.
6. Virginia Still. Has More Hyperscale Data Center Capacity Than Either Europe or China. URL: <http://surl.li/tumkm>.
7. Sebastian Moss. Historic black cemetery was moved for Microsoft data center in Virginia URL: <http://surl.li/tyhkv>.
8. Narcyz Roztocki, Piotr Soja & Heinz Roland Weistroffer. (2019) The role of information and communication technologies in socioeconomic development: towards a multi-dimensional framework, Information Technology for Development, 25:2, 171-183, DOI: 10.1080/02681102.2019.1596654.
9. Executive summary Uptime Intelligence report: March 2024 Annual outage analysis 2024 URL: <http://surl.li/tyhnm>.
10. Kari Beets. North America Data Center Report The quest for power moves development into new frontiers. URL: <http://surl.li/tumfz>.
11. Niva Yadav. AI demand and limited capacity drive US data center prices up 19% URL: <http://surl.li/tyigz>.
12. Tracy Mayor. Data centers in Iceland? Yes, really! URL: <http://surl.li/tyjgm>.
13. Savills: Pipeline of data centers needs to more than double by 2025 to meet demand for storage in Europe URL: <http://surl.li/tyjmh>.
14. Andy Patrizio. Power availability stymies data center growth URL: <http://surl.li/tykfb>.
15. Matthew Connatser. Arm CEO warns AI's power appetite could devour 25% of US electricity by 2030 URL: <http://surl.li/tykgs>.
16. Sebastian Moss. Sam Altman-backed nuclear reactor firm Oklo hiring data center lead as it looks to power "AI and cloud computing". URL: <http://surl.li/tuyvd>.
17. Sebastian Moss. Microsoft hires Archie Manoharan as director of nuclear technologies, joins from micro modular reactor firm URL: <http://surl.li/tykmx>.
18. Justine Calma. Google's new geothermal energy project is up and running URL: <http://surl.li/tykun>.
19. Olivia Solon. Hoses on Roofs Are Keeping UK's Data Centers Cool URL: <http://surl.li/tzqov>.
20. Dan Robinson. Google datacenters use 'a quarter of all water' in one US city URL: <http://surl.li/tztms>.
21. Amazon Tones Down Its Data Center Noise After Residents Sound the Alarm. URL: <http://surl.li/tummm>.
22. John Roach. Under the sea, Microsoft tests a datacenter that's quick to deploy, could provide internet connectivity for years URL: <http://surl.li/tzwsz>.
23. Peter Judge. China's Highlander completes first commercial underwater data center, looks for exports. URL: <http://surl.li/tuysj>.
24. Dan Swinhoe. Nautilus Data Technologies launches first floating data center URL: <http://surl.li/tzxeq>.
25. Ascend: Thales Alenia space to lead European feasibility study for data centers in space. URL: <http://surl.li/tuytg>.