

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ У РОЗПОДІЛЕНИХ ХМАРНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Співак В.В., асистент

*Миколаївський національний аграрний університет*

<https://orcid.org/0009-0003-7371-1313>

**Анотація:** У тезах розглянуто ключові проблеми надмірного енергоспоживання центрами обробки даних (ЦОД). Запропоновано концептуальний підхід до управління енергоефективністю хмарної інфраструктури на основі технологій консолідації віртуальних машин, енергоефективного балансування навантаження та інтелектуального моніторингу метрик у контексті парадигми Green IT.

**Ключові слова:** хмарні обчислення, енергоефективність, Green IT, віртуалізація, консолідація віртуальних машин, ЦОД.

Стрімкий розвиток інформаційних технологій та глобальна цифровізація бізнес-процесів призвели до експоненціального зростання обсягів даних, що обробляються та зберігаються у розподілених хмарних середовищах. Разом із розширенням інфраструктури центрів обробки даних (ЦОД) критично зростає їхнє енергоспоживання. За оцінками експертів, дата-центри вже споживають значну частку світової електроенергії, що не лише формує високі операційні витрати для провайдерів, а й створює суттєве екологічне навантаження [1]. Відповідно, парадигма «зелених» інформаційних технологій (Green IT) стає не просто репутаційним трендом, а економічною та технологічною необхідністю [2].

Традиційні підходи до управління хмарною інфраструктурою часто базуються на принципі надлишкового резервування ресурсів (overprovisioning) для забезпечення стійкості до пікових навантажень [3]. Це призводить до того, що значна частина фізичних серверів працює в режимі холостого ходу (idle), використовуючи лише 15–30 % своєї обчислювальної потужності, але при цьому споживаючи понад 60 % енергії від свого номінального максимуму. Ключовою проблемою є дисбаланс між фактичним корисним навантаженням та обсягом енергії, що витрачається на підтримку активного стану обладнання та його охолодження.

Для вирішення зазначеної проблеми пропонується багаторівневий концептуальний підхід до оптимізації енергоспоживання, який включає наступні складові:

1. **Консолідація віртуальних машин (VM Consolidation):** Використання технологій апаратної віртуалізації дозволяє динамічно мігрувати віртуальні машини (Live Migration) з недовантажених фізичних вузлів на меншу кількість серверів [4]. Це дає змогу вивільнити частину обладнання та перевести

його в енергозберігаючий режим (Sleep/Standby) або повністю вимкнути до моменту зростання загального навантаження.

2. **Енергоефективне балансування навантаження (Energy-Aware Load Balancing):** Алгоритми диспетчеризації завдань мають враховувати не лише критерії швидкодії та мінімізації затримок, але й енергетичний профіль серверів. Розподіл завдань між вузлами з різною архітектурою та показниками енергоефективності дозволяє знизити загальне споживання кластера без порушення угод про рівень надання послуг (SLA).

3. **Інтелектуальний моніторинг та прогнозування (Smart Monitoring):** Впровадження систем безперервного моніторингу метрик ефективності (наприклад, Power Usage Effectiveness – PUE) у поєднанні з базовими інструментами аналітики для передбачення добових або сезонних піків навантаження [2]. Це дозволяє проактивно, а не реактивно, керувати станом живлення інфраструктури.

Підсумовуючи, варто зазначити, що оптимізація енергоспоживання розподілених хмарних середовищ вимагає комплексного підходу, що поєднує технології віртуалізації, динамічного розподілу ресурсів та інтелектуального моніторингу. Впровадження описаних концептуальних засад дозволить суттєво знизити операційні витрати ЦОД та зменшити вуглецевий слід ІТ-інфраструктури. Перспективою подальших досліджень є розробка математичних моделей багаторівневого управління енергоефективністю та інтеграція методів машинного навчання для автоматизації процесів предиктивного управління ресурсами.

#### Список використаних джерел

1. Мельник А.О., Коркяйнен М.А. Хмарні обчислення та архітектура центрів обробки даних : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2023. 245 с.
2. Buyya R., Gill S. S. Sustainable Cloud Computing: Foundations and Future Directions. *IEEE Transactions on Cloud Computing*. 2022. Vol. 10. P. 1234–1248.
3. Бойко О.В., Коваленко О.А. Аналіз методів управління ресурсами в розподілених хмарних середовищах. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2024. № 1. С. 45–52.
4. Pahlwa P. et al. Energy-Aware Load Balancing and Virtual Machine Consolidation in Cloud Data Centers. *Journal of Grid Computing*. 2023. Vol. 21, No. 2. P. 34–51.

**Abstract:** This paper addresses the key issues of excessive energy consumption by data centers (DCs). A conceptual approach to managing the energy efficiency of cloud infrastructure based on virtual machine consolidation technologies, energy-efficient load balancing, and intelligent metric monitoring in the context of the Green IT paradigm is proposed.

**Keywords:** cloud computing, energy efficiency, Green IT, virtualization, virtual machine consolidation, DC.