**АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ СУЧАСНИМИ МОДЕЛЯМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ НАВЧАННЯ ТА ВИКОНАННЯ НИМИ РІЗНИХ ЗАДАЧ**

**ANALYSIS OF THE CONSUMPTION OF NATURAL RESOURCES BY MODERN ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS FOR TRAINING AND PERFORMING VARIOUS TASKS**

Науковий керівник: старший викладач кафедри інформаційних систем

Баськов Ілля Олександрович

Здобувачка четвертого (бакалаврського) рівня вищої освіти Туз Анна Олегівна

Scientific supervisor: Senior Lecturer at the Department of Information Systems

Baskov Illia Oleksandrovych

Candidate of the fourth (bachelor's) degree Tuz Anna Olehivna

***Анотація.*** В цій роботі досліджується вплив штучного інтелекту на споживання природних ресурсів та екологічний слід на різних етапах його життєвого циклу.

***Ключові слова****:* штучний інтелект, енергетична ефективність, вуглецевий слід, природні ресурси, життєвий цикл ШІ

***Abstract.***This work examines the impact of artificial intelligence on the consumption of natural resources and the ecological footprint at various stages of its life cycle.

***Keywords:*** artificial intelligence, energy efficiency, carbon footprint, natural resources, AI life cycle

**Вступ.**

Штучний інтелект вважається одним із найперспективніших новітніх технологічних напрямів, який стрімко розвивається впродовж останніх двох десятиліть. За останні десять років алгоритми штучного інтелекту суттєво вплинули на всі сфери життя людини.

Зокрема, в межах власної кваліфікаційної роботи бакалавра, використано можливості штучного інтелекту для генерації текстового опису за зображеннями витворів мистецтва, використовуючи модель GPT-4 від OpenAI. Водночас усвідомлюючи високі екологічні витрати, пов’язані з роботою таких моделей, було вирішено підготувати короткий виклад ключових ідей, що висвітлюють цю проблему.

**Мета дослідження.**

Серед численних наслідків, які поширюються внаслідок стрімкого розвитку та використання штучного інтелекту (ШІ), особливої уваги заслуговують екологічні виклики, пов’язані з його впливом на навколишнє середовище та природні ресурси.

З огляду на загострення кліматичної кризи, значне енергоспоживання та водозалежність процесів навчання і використання систем ШІ становлять додатковий фактор антропогенного тиску. Проте поряд із цим постає питання: чи може штучний інтелект, попри свій екологічний слід, також слугувати інструментом для подолання екологічних проблем, шляхом сприяння енергоефективності та зусиллям щодо сталого розвитку? [1]

**Основний матеріал.**

Ресурсомісткість штучного інтелекту розглядається в контексті трьох ключових етапів його життєвого циклу, кожен з яких супроводжується значним споживанням енергії, води та викидами парникових газів. Під час створення відповідної інфраструктури, так і в процесі навчання та експлуатації моделей ШІ, відбувається істотне навантаження на природні ресурси.

Розглянемо докладніше ці три етапи:

1. Виробництво апаратного забезпечення та інфраструктури: створення нових серверів, систем зберігання даних і мережевих компонентів, необхідних для розробки, навчання та експлуатації ШІ.
2. Навчання моделей: виконання великої кількості ітерацій математичних операцій над масштабними наборами даних, що потребує високої обчислювальної потужності та значних обсягів пам’яті.
3. Фаза виконання запитів: після розгортання ШІ-систем, здійснення прогнозів або прийняття рішень на основі нових вхідних даних. Хоча цей етап менш енергомісткий, ніж навчання, він також вимагає значних обчислювальних ресурсів, особливо в умовах масового використання ШІ в реальному часі [1-2].

Визначити точні обсяги енергоспоживання та викидів CO₂, пов’язаних із функціонуванням моделей штучного інтелекту, є надзвичайно складним завданням через велику кількість змінних. Попри складність такого аналізу, низка дослідницьких робіт спробувала розглянути життєвий цикл моделі ШІ на два основні етапи – навчання та виконання різних типів задач – і надати орієнтовну оцінку їхнього екологічного впливу.

Одне з перших масштабних досліджень, присвячених оцінці екологічного сліду штучного інтелекту, було проведене в Массачусетському університеті в Амхерсті у 2019 році. В ході нього було встановлено, що навчання великої мовної моделі BERT від Google, за 79 годин призвело до викиду 1438 фунтів (приблизно 652 кг) вуглекислого газу. Для порівняння: переліт з Нью-Йорка до Сан-Франциско супроводжується викидом близько 1000 фунтів CO₂. Також дослідники оцінили викид CO₂ під час навчання ШІ-моделі з пошуку нейронної архітектури (NAS) – для машинного навчання це одне з найскладніших обчислювальних завдань. Навчання NAS призвело до викиду 626155 фунтів CO₂, що еквівалентно 300 перельотам туди й назад зі Східного узбережжя США на Західне.

Результати згаданого дослідження отримали значний суспільний розголос і були широко висвітлені в засобах масової інформації. Навіть авторитетні наукові видання, зокрема MIT Technology Review, опублікували матеріали із заголовками на зразок: «Навчання однієї моделі штучного інтелекту може призвести до такого самого обсягу викидів CO₂, як і п’ять автомобілів протягом усього періоду їх експлуатації». Автори цих публікацій часто помилково вважали процес навчання моделей штучного інтелекту типовим прикладом їх щоденного функціонування. Водночас зазначалося, що попри значний рівень викидів CO₂, приріст ефективності моделі після навчання був порівняно незначним.

Пізніше виявилося, що дослідники з Массачусетського університету в Амхерсті зробили кілька помилкових припущень, які суттєво завищили їхню оцінку енергоспоживання та викидів CO₂. У відповідь на їх дослідження NAS надали докладну інформацію про свою ШІ-модель і зазначили, що фактичні викиди були у 88 разів меншими. На жаль, ЗМІ не звернули достатньої уваги на їхню заяву [2].

Впродовж наступних років було опубліковано велику кількість досліджень, присвячених оцінці енергоспоживання та викидів CO₂ під час навчання різних моделей штучного інтелекту. На основі даних із відкритих джерел, команда дослідників з компанії Hugging Face та Університету Карнегі-Меллона, дійшла висновку, що твердження «Чим складніша і більша ШІ-модель, тим більше енергії вона витратить і тим більший вуглецевий слід залишить» – не є коректним.

Наприклад, навчання GPT-3 – ШІ-моделі на 175 мільярдів параметрів, що використовується у ChatGPT – призвело до викидів 552 тонн CO₂. При цьому порівнянні моделі від Meta і Google – OPT і Gopher на 175 і 280 мільярдів параметрів, залишили значно менший вуглецевий слід – 75 і 380 тонн CO₂ відповідно.

Крім того, ефективність навчання ШІ-моделей збільшується. Наприклад, через 18 місяців після GPT-3 Google випустив GLaM-LLM з 1,2 трильйоном параметрів. Всупереч тому, що GLaM майже в сім разів більший за GPT-3 і перевершує будь-яку іншу ШІ-модель, вона вимагає у 2,8 раза менше енергії для навчання.

Також, на викиди CO₂ впливає енергоспоживання дата-центру, в якому розробники навчають ШІ-модель. Наприклад, розробники BLOOM використовували французький дата-центр, що працює на атомній енергії, та зменшили вуглецевий слід моделі.

Поступово вчені дійшли до висновку, що ШІ-моделі витрачають більшу частину енергії не під час навчання, а під час генерації результатів на запит.

Так, за даними компанії Amazon Web Services, близько 90% загального електроспоживання ШІ-моделей припадає саме на генерацію відповідей. Подібні оцінки наводить компанія Schneider Electric – 80% навантаження ШІ-моделей у дата-центрах у 2023 році припадуть на генерацію результату та 20% – на навчання.

У свою чергу, дослідники з Meta вважають, що точне співвідношення між навчанням та генерацією варіюється залежно від сценарію використання. Наприклад, генерація результатів LLM-моделі може займати 65% вуглецевого сліду від її роботи. Але для рекомендаційних моделей, у яких параметри необхідно часто оновлювати через надходження нових даних, розподіл споживання енергії між навчанням та генерацією результату буде рівномірним [2].

Обсяг енергії, необхідної для генерації результату за допомогою штучного інтелекту, визначається типом вирішуваної задачі (табл. 1). Зокрема, завдання класифікації текстової інформації, як правило, потребує менших обчислювальних ресурсів, а отже, і меншого енергоспоживання, порівняно із завданнями, пов’язаними зі створенням зображень.

При цьому кількість енергії, яка потрібна для генерації результату, залежить від безлічі факторів. Наприклад, використання ШІ для класифікації тексту зазвичай потребує менше обчислювальних потужностей (отже, менше енергії), ніж використання ШІ для створення зображення. Різні ШІ-моделі витрачають різну кількість енергії, а в рамках конкретних моделей (наприклад, Llama 2 7B проти Llama 2 70B) більше параметрів потребує більше енергії для генерації результату [2-3].

Таблиця 1. Середнє споживання енергії на 1000 запитів за завданням

|  |  |
| --- | --- |
| Task | kWh |
| Text classification  | 0.002 |
| Image classification | 0.007 |
| Object detection | 0.038 |
| Text generation | 0.047 |
| Summarization | 0.049 |
| Image generation | 2.907 |

Покращення в апаратному та програмному забезпеченні й надалі стримуватимуть темпи зростання енергоспоживання ШІ. Виробники чипів створюватимуть більш ефективні графічні процесори для потреб штучного інтелекту. Дослідники продовжують експериментувати з такими методами, як скорочення, квантування та дистиляція, щоб створювати компактніші моделі ШІ, які працюють швидше та енергоефективніше при мінімальній втраті точності [1-2].

Станом на сьогодні оцінка втрат від застосування ШІ-технологій часто ігнорує ефект заміщення. У 2023 році було проведено порівняння вуглецевого сліду, що утворюється під час написання сторінки тексту або створення ілюстрації людиною та штучним інтелектом. На основі аналізу викидів CO₂ для різних моделей ШІ (ChatGPT, BLOOM, Midjourney, DALLE-2) у співвідношенні з показниками працівників у США та Індії встановлено, що ШІ, який генерує сторінку тексту, спричиняє у 130–1500 разів менше викидів CO₂, а при створенні зображень – також демонструє значно нижчий рівень викидів. Хоча ШІ не усуває викиди CO₂, пов’язані з існуванням людини (харчуванням, диханням тощо), він усуває викиди від використання технічних засобів – таких як ноутбуки чи настільні комп’ютери – при виконанні цих завдань [3].

**Висновки.**

Отже, враховуючи величезні можливості використання ШІ на користь економіки та суспільства, включаючи перехід до низьковуглецевого майбутнього, дуже важливо, спиратися на дійсні дослідження щодо впливу ШІ на навколишнє середовище.

Проведений аналіз дозволив глибше усвідомити, які саме етапи життєвого циклу штучного інтелекту є найбільш ресурсозатратними, а також окреслити потенціал сучасних технологій у зниженні екологічного навантаження. Зібрані дані й приклади підтвердили, що за відповідального підходу штучний інтелект здатен не лише спричиняти виклики, а й ставати частиною їх вирішення – зокрема у сфері енергоефективності та сталого розвитку.

Дана робота надає змогу глибше осмислити екологічні аспекти функціонування ШІ та приймати більш обґрунтовані рішення щодо його впровадження у розроблювані технічні рішення.

**Список використаних джерел.**

1. Kshetri N. The Environmental Impact of Artificial Intelligence / N. Kshetri // IT Professional. – 2024. – Vol. 26, No. 3. – P. 9–13. DOI: 10.1109/MITP.2024.3399471.
2. Castro D. Rethinking Concerns About AI’s Energy Use / D. Castro. URL: *[*[*https://www2.datainnovation.org/2024-ai-energy-use.pdf*](https://www2.datainnovation.org/2024-ai-energy-use.pdf)*]*.
3. Luccioni A. S., Jernite Y., Strubell E. Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment? / A. S. Luccioni, Y. Jernite, E. Strubell // Hugging Face, Carnegie Mellon University, Allen Institute for AI. Canada/USA URL: *[*[*https://arxiv.org/pdf/2311.16863*](https://arxiv.org/pdf/2311.16863)*]*.