

Ярченко Д. С.,
здобувач вищої освіти спеціальності 122 Комп'ютерні науки
Науковий керівник: Пархоменко О. Ю., к.ф.-м.н., доцент кафедри
економічної кібернетики, комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Миколаївський національний аграрний університет,
м. Миколаїв

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗБЕРІГАННЯ ТА ОБРОБКИ АУДІОДАНИХ У ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМАХ АГРОСЕКТОРУ

Технології моніторингу в агросекторі все частіше базуються на аналізі акустичних даних, які перетворюються у спектрограми – двовимірні зображення енергетичного розподілу звуку у часі та частоті. Ці спектрограми, що відображають характерні біоакустичні та технічні особливості (наприклад, звуки тварин, комах, роботи техніки), подаються на вхід нейронних мереж, що навчаються розпізнавати шаблони, притаманні певним станам здоров'я, наявності шкідників або технічним несправностям. Сучасні дослідження у цій сфері свідчать, що найвищої ефективності в задачах класифікації акустичних подій досягають моделі, побудовані на архітектурах глибинних нейронних мереж, зокрема згорткових (CNN) для аналізу спектрограм, рекурентних (RNN/LSTM) для моделювання тимчасових послідовностей та їхніх гібридних комбінацій. Однак, масштабне впровадження цих технологій утруднене через великі обсяги генерованих аудіоданих, що висуває на перший план проблеми їх ефективного зберігання та обчислювальної обробки.

Метою даної роботи є аналіз та розробка підходів до оптимізації зберігання та обробки аудіоданих як ключового технологічного компоненту цифрових платформ агросектору та визначення їхньої ролі у створенні економічно ефективних і масштабованих інтелектуальних систем прецизійного землеробства та тваринництва. Реалізація цієї мети передбачає розгляд архітектури цифрових платформ для роботи з акустичними даними, детальне дослідження методів оптимізації (стратегічне стиснення, хмарне архівування, edge-обчислення, ефективне навчання моделей), а також оцінку впливу таких оптимізацій на практичні показники: зниження витрат на зберігання, прискорення отримання аналітичних інсайтів, підвищення надійності та автономності систем моніторингу в умовах обмеженої інфраструктури сільської місцевості.

Відповіддю на ці виклики є ретельна оптимізація архітектури зберігання та обробки. Оптимальним підходом є гібридна стратегія «Edge-Cloud». На периферії, безпосередньо на пристрої або шлюзі (Edge), відбувається первинна, найбільш критична обробка: фільтрація шуму, компресія, поділ потоку на змістовні сегменти та попереднє виділення ключових аудіо-ознак. У хмару передається не сирий потік даних, а лише цінна інформація – метадані, короткі фрагменти з підозрілими подіями або вже готові спектрограми. У хмарному середовищі (Cloud) дані структуруються: довгі архівні записи поміщаються в економічні «холодні» сховища, тоді як спектрограми, вектори ознак (ембендинги) та результати роботи моделей штучного інтелекту зберігаються в

оптимізованих базах даних для швидкого пошуку та аналізу. Важливо використовувати ефективні формати компресії, що зберігають інформацію в ключових частотних діапазонах, а також систему контекстного індексування, де кожен аудіофайл прив'язується до багатих метаданих: місце, час, ідентифікатор тварини або агрегату[1].

Автоматизовані конвеєри (pipeline). Обробка даних будується навколо конвеєрів, які забезпечують безперебійний потік від сирого запису до готового аналітичного висновку. Серцем цих конвеєрів є спеціалізовані моделі машинного навчання. Зокрема, згорткові нейронні мережі (CNN), навчені аналізувати спектрограми, використовуються для класифікації звуків тварин (кашель, харчування, тривога) або діагностики стану техніки.

Для роботи в умовах обмежених обчислювальних ресурсів на місцях застосовуються легкі моделі, здатні детектувати аномалії в реальному часі, тоді як потужні хмарні моделі підтверджують та деталізують ці події. Для роботи з безперервними потоками незамінними стають технології потокової обробки даних [2].

Застосування технологій FarmERP, AGRIVI є надзвичайно широким. У цифрових платформах агроменеджменту, таких як FarmERP, AGRIVI або Climate FieldView, оптимізовані системи зберігання та обробки акустичних даних використовуються для автоматичного моніторингу стану тварин (виявлення кашлю, стресу), ідентифікації шкідників за звуком та діагностики техніки. У великих господарствах і дослідницьких центрах такі системи дають змогу ефективно аналізувати терабайти записів з поля, виділяючи корисні сигнали (наприклад, спів корисних комах) на тлі шумів, що значно підвищує точність прийняття рішень. Крім того, у сфері прецизійного землеробства оптимізована обробка даних допомагає інтегрувати акустичний аналіз із даними з дронів, метеостанцій та ґрунтових сенсорів, створюючи комплексну картину стану агроєкосистеми [3].

Значення цих технологій у цифровізації агросектору важко переоцінити. Вони не лише спрощують процес збору та аналізу даних, а й сприяють створенню автономних, енергоефективних систем моніторингу. Завдяки оптимізації зберігання (наприклад, через селективне архівування лише подій, що містять аномалії) та обробки (використання edge-обчислень для попередньої фільтрації даних прямо на сенсорі) аналіз стає швидшим, а витрати на інфраструктуру – значно нижчими. У результаті формуються нові, економічно обґрунтовані підходи до ведення сільського господарства, що базуються на даних у реальному часі (рис. 1).

Водночас існують певні проблеми, пов'язані з впровадженням цих технологій. Серед них – технічна складність обробки в умовах слабого інтернет-зв'язку у сільській місцевості; висока вартість масштабування для малих господарств; потреба в адаптації алгоритмів під специфічні акустичні умови різних регіонів та типів ферм (наприклад, відмінності між звуковим ландшафтом свинарника та птичника). Подолання цих викликів вимагає подальших досліджень у сфері стиснення аудіо без втрати ключових ознак, розвитку гібридних (хмарно-периферійних) архітектур та створення відкритих,

якісних навчальних наборів акустичних даних для сільського господарства.

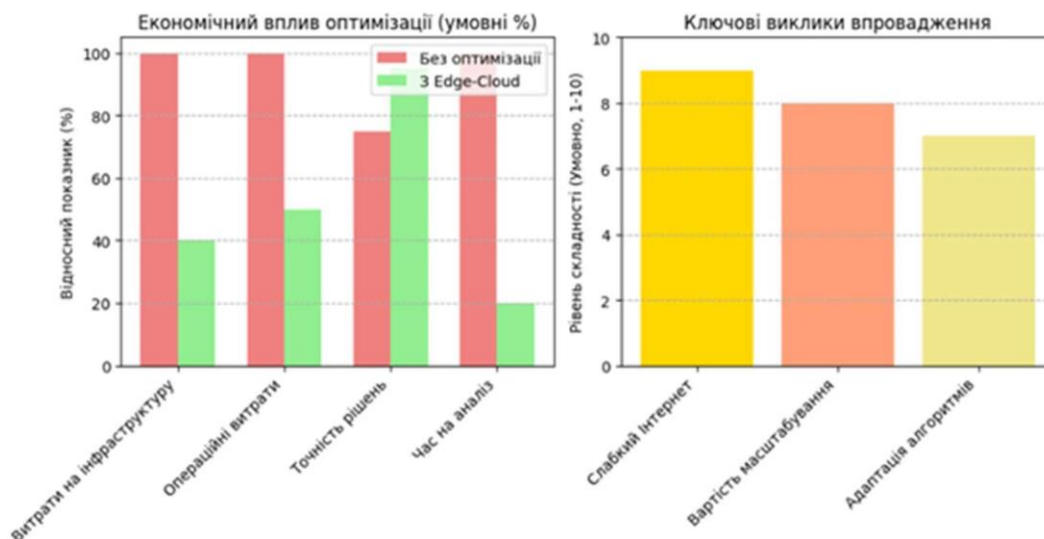


Рисунок 1. Вплив акустичного моніторингу та його виклики в агросекторі

У результаті проведеного аналізу встановлено, що оптимізація зберігання та обробки аудіоданих є критичним чинником цифрової трансформації агросектору. Вона поєднує ефективність сучасних алгоритмів (наприклад, квантування нейронних мереж для швидкого інференсу на обмежених пристроях) з практичними потребами господарств у надійності та економічності. Найбільш перспективними виявляються гібридні підходи, які поєднують попередню обробку на периферії (edge) для зменшення обсягів даних з потужною аналітикою в хмарі, забезпечуючи баланс між швидкістю відгуку, точністю та собівартістю.

Список використаних джерел

1. Автоматизований пристрій керування конвеєром. *ELARKHNU Інституційний репозитарій Хмельницького національного університету* :: Головна. URL: <https://elar.khmnmu.edu.ua/handle/123456789/18940> (дата звернення: 05.12.2025)
2. Дослідження застосування автоматизованих тестових конвеєрів у безперервній розробці програмного забезпечення. *ELAr KhNURE* :: Головна. URL: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/27473> (дата звернення: 05.12.2025)
3. Оптимізація діяльності підприємства на основі впровадження інноваційних цифрових технологій. *DSpace* :: *ELAKPI* :: *Репозитарій КІП ім. Ігоря Сікорського*. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/68291> (дата звернення: 05.12.2025)