

**Руденський Роман Анатолійович**

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
ORCID 0009-0002-3682-9702

**Кравченко Володимир Миколайович**

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
ORCID 0000-0002-8033-3985

**Волошина Тетяна Володимирівна**

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
ORCID 0000-0001-6020-5233

**Корольчук Валентина Ігорівна**

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
ORCID 0000-0002-3145-8802

**Волошин Семен Михайлович**

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
ORCID 0000-0002-4913-7003

**РЕАЛІЗАЦІЯ РІШЕННЯ НА ОСНОВІ ІНФРАСТРУКТУРИ MICROSOFT AZURE ДЛЯ  
УПРАВЛІННЯ АГРОПРОМИСЛОВИМ КОМПЛЕКСОМ**

***Анотація.** Впровадження сучасних хмарних технологій на основі штучного інтелекту (ШІ) в агропромисловий комплекс (АПК) є не лише інноваційним напрямком, але й необхідною умовою його розвитку та подолання викликів сьогодення, враховуючи постійне зростання попиту на продовольство, а також необхідність збереження природних ресурсів. Технології ШІ стають критично важливим інструментом для забезпечення сталого розвитку та ефективного управління аграрним сектором. Вони також сприяють зростанню продуктивності та точності прийняття управлінських рішень, уможливають швидке реагування на стрімкі зміни, що відбуваються в аграрному секторі у зв'язку з цифровою трансформацією цієї галузі й економіки в цілому. У статті наведено типові задачі машинного навчання (МН), що можуть бути застосовані в АПК для покращення бізнес-процесів. На основі хмарної платформи Microsoft Azure побудована архітектура, що забезпечує модульність, масштабованість, гнучкість, безпеку й інтеграцію різних компонентів для оптимізації бізнес-процесів АПК, а також ефективного управління в цілому. Для створення й розгортання моделей прогнозування та оптимізації використано Azure Machine Learning, що допоможе представникам аграрного сектору швидко адаптуватись до змін кліматичних умов та погодних явищ, прогнозувати врожайність, стан полів, ринкові ціни тощо, а також забезпечити гнучке управління бізнес-процесами через інтерактивні дашборди та API (налаштування RESTful API). Крім того, надані рекомендації для подальшого вдосконалення рішення з прогнозування в аграрному секторі із застосуванням хмарних технологій малими фермерськими господарствами, які мають обмежені ресурси. Реалізація запропонованого рішення на основі інфраструктури Microsoft Azure стане цінним ресурсом для фахівців, які залучені до цифрової трансформації аграрного сектору країни.*

розробників хмарних рішень для підтримки різних бізнес-процесів АПК, зокрема для реалізації типових задач машинного навчання (МН).

**Ключові слова:** хмарна інфраструктура, штучний інтелект, машинне навчання, аграрна індустрія, цифрова трансформація, великі набори даних

**Rudenskyi Roman**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
ORCID 0009-0002-3682-9702

**Kravchenko Volodymyr**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
ORCID 0000-0002-8033-3985

**Voloshyna Tetiana**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
ORCID 0000-0001-6020-5233

**Korolchuk Valentyna**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
ORCID 0000-0002-3145-8802

**Voloshyn Semen**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
ORCID 0000-0002-4913-7003

**IMPLEMENTATION OF A SOLUTION BASED ON MICROSOFT AZURE  
INFRASTRUCTURE FOR AGRIBUSINESS MANAGEMENT**

**Abstract.** *The introduction of modern cloud technologies based on artificial intelligence (AI) in the agro-industrial complex (AIC) is not only an innovative trend but also a prerequisite for its development and overcoming the challenges of today, given the constant growth in demand for food and the need to preserve natural resources. AI technologies are becoming a critical tool for ensuring sustainable development and efficient management of the agricultural sector. They also contribute to the growth of productivity and accuracy of management decision-making and enable rapid response to the rapid changes in the farm sector due to the digital transformation of this industry and the economy as a whole. The article presents typical machine learning (ML) tasks that can be applied in the agricultural sector to improve business processes. Based on the Microsoft Azure cloud platform, an architecture has been built that provides modularity, scalability, flexibility, security, and integration of various components to optimize business processes in the agro-industrial complex and effective management in general. Azure Machine Learning is used to create and deploy forecasting and optimization models, which will help representatives of the agricultural sector to adapt to changes in climate conditions and weather events quickly, predict yields, field conditions, market prices, etc., and provide flexible management of business processes through interactive dashboards and APIs (RESTful API settings). In addition, recommendations for further improvement of the forecasting solution in the agricultural sector using cloud technologies by small farms with limited resources are provided. The implementation of the proposed solution based on Microsoft Azure infrastructure will be a valuable resource for professionals involved in the digital transformation of the country's agricultural sector, developers of cloud solutions*

*to support various business processes in the agro-industrial complex, in particular for the implementation of typical machine learning (ML) tasks.*

**Keywords:** *cloud infrastructure, artificial intelligence, machine learning, agricultural industry, digital transformation, big data*

## 1. Вступ

Сучасний агропромисловий комплекс (АПК) стикається з значною кількістю викликів, такими як зміни клімату, зростання попиту на продовольство, потреби в оптимізації ресурсів і підвищенні продуктивності. У таких умовах цифрові технології стають основним інструментом для досягнення сталого розвитку та підвищення ефективності виробничих бізнес-процесів. Інтеграція хмарних платформ у сферу АПК відкриває нові можливості для збору, обробки та аналізу великих наборів даних, які використовуються в прийнятті ефективних рішень фахівцями цієї сфери.

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Цифрова трансформація АПК України передбачає впровадження інноваційних рішень для підвищення ефективності управління, продуктивності та сталого розвитку, вимагає вдосконалених високопродуктивних технологій та систем управління інформацією для максимальної автоматизації бізнес-процесів [1]. Цифрові рішення сприяють створенню більш стійких, ефективних і екологічно відповідальних сільськогосподарських систем. Їх впровадження дозволяє підвищити продуктивність, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та підвищити стійкість фермерських господарств до сучасних викликів [2].

В епоху поширення цифрових даних сільське господарство перебуває на шляху трансформаційної революції, рушієм якої є машинне навчання (МН) [3]. Різноманітні інструменти на основі штучного інтелекту (ШІ), розроблені для аграрного сектору, включають точне землеробство, прогнозу аналітику, автоматизовану техніку, розумні системи зрошення, моніторинг посівів і ґрунтів, оптимізацію ланцюгів поставок, прогнозування погоди та управління технологічними процесами в тваринництві тощо [4]. Розповсюдження та широке використання методів МН стало можливим завдяки розвитку технологій обробки великих даних та високопродуктивних обчислювальних систем, що в свою чергу відкрило нові перспективи для досліджень з великими наборами інформації у галузі агротехнологій [5]. МН використовують для прогнозування врожайності, виявлення хвороб культур і бур'янів та оцінки якості врожаю, що сприяє оптимізації виробництва сільськогосподарських культур та забезпеченню їх якості [6], [7].

Для управління великими наборами даних із різних джерел, їх зберігання, обробки, навчання моделей, а також для розгортання прогнозних систем доцільно використовувати хмарні платформи, такі як AWS (Amazon Web Services), GCP (Google Cloud Platform), або Microsoft Azure. Ці платформи надають широкий набір інструментів і сервісів, оптимізованих для завдань машинного навчання [8].

Хмарна інфраструктура Azure підтримує зберігання та обробку великих масивів сільськогосподарських даних, що дозволяє застосовувати алгоритми машинного навчання для отримання дієвих висновків [9], [10]. Можливості машинного навчання на основі Azure дозволяють проводити прогностичний аналіз моделей вирощування сільськогосподарських культур, аналізуючи екологічні дані, що дозволяє фермерам приймати обґрунтовані рішення щодо посіву та збору врожаю, оптимізації врожайності та використання ресурсів [11]. Хмарна платформа Microsoft Azure забезпечує надійне середовище для розгортання моделей МН, що здатні ефективно обробляти великі набори даних з різних джерел, зокрема підтримуючи інтеграцію з IoT пристроями, збираючи, аналізуючи та використовуючи дані з відповідних

датчиків у режимі реального часу. Ці рішення дозволяють оптимізувати ресурси, прогнозувати врожайність, здійснювати моніторинг стану ґрунтів і рослин, а також своєчасно приймати управлінські рішення, що спрямовані на підвищення ефективності та сталості агропромислового виробництва.

### 3. Мета і задачі дослідження

Метою статті є розробка рішення на основі інфраструктури Microsoft Azure для управління бізнес-процесами АПК, забезпечуючи аналіз, прогнозування та автоматизацію процесів із використанням хмарних технологій, машинного навчання та аналітичних інструментів.

Відповідно до мети визначено такі завдання:

1. Класифікувати поширені задачі МН в АПК і визначити їх ключові характеристики, що впливають на вибір інструментів.
2. Розробити архітектуру для збору, зберігання та обробки даних про стан полів із використанням сервісів Microsoft Azure.
3. Надати рекомендації для подальшого вдосконалення рішень із прогнозування в аграрному секторі із застосуванням хмарних технологій.

### 4. Результати дослідження

Важливою складовою сучасних проєктів МН, зокрема в АПК стали хмарні рішення. Вони дозволяють представникам аграрного сектору забезпечити доступ до масштабованих обчислювальних ресурсів, зручних платформ для управління великими наборами даними та передових інструментів бізнес аналітики, вирішувати складні задачі, такі як прогнозування врожайності, моніторинг стану полів, аналіз ринкових цін і оптимізація ресурсів. Значну роль відіграють методи МН, які покладаються на визначення ключових закономірностей за результатами обробки великих масивів даних і прогнозування важливих показників у сільському господарстві. Наприклад, предиктивна аналітика дозволяє не лише прогнозувати врожайність на основі історичних даних та погодних умов, а й оптимізувати використання добрив і засобів захисту рослин, що допомагає мінімізувати витрати та підвищити якість продукції тощо. Системи підтримки прийняття рішень, які рекомендують фахівцям АПК оптимальні культури для посадки або забезпечують планування агротехнічних заходів, ґрунтуються на аналізі численних факторів, включаючи стан ґрунту, прогноз погоди, історичні дані тощо. Типові задачі машинного навчання, що можуть бути застосовані в АПК наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Типові задачі машинного навчання в АПК

Бізнес-процес	Формулювання задачі машинного навчання
Прогнозування ризику відтоку партнерів або клієнтів	Класифікація: прогнозування відтоку або збереження клієнтів (партнерів, постачальників)
Виявлення шахрайства у ланцюгу постачання	Аномалії: виявлення шахрайських дій у ланцюгах постачання та закупівель
Аналіз настроїв фермерів, аграріїв та клієнтів	Обробка природної мови: аналіз настроїв у текстових відгуках або соціальних мережах щодо агропродукції

Прогнозування попиту на сільгосппродукцію	Прогнозування часових рядів: передбачення майбутнього попиту на різні види агропродукції
Оцінка кредитного ризику для фермерів	Регресія/Класифікація: оцінка кредитоспроможності аграріїв для фінансування агропроектів
Класифікація якості врожаю	Комп'ютерний зір: класифікація за якістю зерна, фруктів або овочів
Рекомендаційні системи для вибору культур	Колаборативна фільтрація: рекомендації щодо вибору культур або технік на основі схожих господарств
Розпізнавання голосових команд	Глибоке навчання: конвертація голосових команд у текст для автоматизації записів у полі
Прогнозне обслуговування техніки	Прогнозне моделювання: передбачення відмов обладнання для своєчасного ремонту
Виявлення об'єктів на полях	Комп'ютерний зір: розпізнавання об'єктів на полях або в теплицях, наприклад, для ідентифікації шкідників
Персоналізоване землеробство	Генетичні алгоритми: індивідуалізація догляду за рослинами на основі генетичних даних культур
Переклад аграрних звітів та рекомендацій	Моделі послідовностей: автоматизований переклад аграрних документів або інструкцій між мовами
Виявлення вторгнень у мережі агропідприємства	Класифікація: виявлення та класифікація кібератак на мережу господарства
Виявлення аномалій у даних з сенсорів	Аномалії: ідентифікація аномалій у даних про ґрунт, погоду чи інші аграрні фактори
Сегментація земельних ділянок	Кластеризація: поділ полів на сегменти з подібними характеристиками для оптимізації догляду
Оптимізація цін на агропродукцію	Підкріплювальне навчання: оптимізація цінових стратегій на ринку агропродукції

Для розробки та реалізації проєктів машинного навчання (МН) при виборі інструментів необхідно враховувати кілька ключових факторів. Передусім, слід зосередитися на характеристиках наявних даних (їх обсязі, структурі, якості та доступності) і постановці завдань щодо покращення бізнес-процесів. Наприклад, для роботи з великими неструктурованими даними доцільно застосовувати платформи з потужними можливостями для обробки та аналізу даних. Також важливо чітко визначити бізнес-процеси, включаючи проблеми, мету проєкту, очікувані результати та обмеження, адже вибір інструментів залежить від типу задачі: класифікація, регресія, кластеризація або прогнозування.

Крім вибору інструментарію для управління АПК важливим завданням є вибір та розробка інфраструктури, спроможної підтримувати реалізацію та функціонування запропонованого

рішення щодо покращення відповідних бізнес-процесів, підвищення їх результативності й ефективності.

Практична реалізація проєктів МН, спрямованих на вирішення типових завдань АПК, з одного боку, передбачає вибір методів для забезпечення точності, адаптивності та масштабованості моделей, враховуючи специфіку даних і поставлених завдань. З іншого боку, вона передбачає вибір технологічної інфраструктури, що визначає можливість ефективної обробки великих обсягів даних, інтеграції різнорідних джерел інформації та швидкості розгортання рішень. У цьому контексті особлива увага приділяється таким затребуваним завданням АПК, як: прогнозування врожайності сільськогосподарських культур, прогнозування цін і попиту на них. Це поєднує сучасні методи машинного навчання з хмарними технологіями та іншими інструментами.

*Прогнозування врожайності* є однією з найважливіших задач у сфері агропромислового комплексу, оскільки її вирішення дозволяє оптимізувати процеси планування та управління ресурсами. Базовими даними для таких моделей є часові ряди, які відображають історичні показники врожайності, погодні умови, агротехнічні заходи, а також зовнішні фактори, що впливають на врожайність. Для аналізу таких даних найбільш ефективними інструментами є сучасні алгоритми МН, зокрема: рекурентні нейронні мережі (RNN, LSTM), моделі на основі градієнтного бустингу (XGBoost), або трансформери, якщо необхідна обробка великих обсягів послідовних даних. Застосування таких інструментів забезпечує точні прогнози, що сприяє своєчасному прийняттю рішень, оптимізації агротехнічних заходів і підвищенню ефективності процесів землеробства.

Наступним, не менш важливим завданням, яке спрямоване на підвищення ефективності управління в АПК є *прогнозування цін*, оскільки це дозволяє передбачити коливання на ринку, планувати фінансові ресурси та адаптувати стратегії збуту. Для вирішення цієї задачі застосовуються як класичні статистичні моделі, так і сучасні алгоритми машинного навчання, здатні враховувати складні взаємозв'язки між різними змінними. Традиційні ARIMA-моделі забезпечують високу точність за умов, коли дані незначно змінюються протягом певного періоду, а саме підходять для задач, де ціни демонструють лінійну поведінку з чітко визначеними сезонними коливаннями та трендами. Моделі Prophet від Meta дозволяє фахівцям налаштовувати параметри моделі, що робить його зручним для аналізу як короткострокових, так і довгострокових прогнозів, а саме нестабільних ринків із різкими змінами цін. Моделі на основі градієнтного бустингу для сезонних трендів, застосовують у випадках, коли необхідно врахувати складні взаємозв'язки між змінними, такими як погодні умови, обсяги виробництва, логістичні витрати та попит на ринку. Градієнтний бустинг дозволяє створювати високоточні моделі, що підходять для прогнозування цін із нестандартними трендами або впливом зовнішніх факторів. Дані методи дозволяють не лише прогнозувати майбутні цінові тренди, але й надавати представникам аграрного бізнесу та державної влади в сфері АПК можливість приймати обґрунтовані та ефективні рішення, мінімізуючи ризики і збільшуючи прибутки в сучасних умовах.

Від точності прогнозів залежить ефективне планування виробництва, постачання та реалізації продукції в АПК, саме тому важливим завданням для даної сфери є прогнозування попиту. Для вирішення цієї задачі використовуються сучасні моделі МН, які дозволяють створювати персоналізовані прогнози, враховуючи широкий спектр факторів. Зокрема моделі нейронних мереж (багатошарові перцептрони (MLP), рекурентні нейронні мережі (RNN)) або факторизаційні машини для персоналізації прогнозу, враховуючи регіональні та історичні тенденції попиту. Пропоновані рішення сприяють не лише мінімізації ризиків повторного виробництва або дефіциту продукції, але й підвищують ефективність аграрного сектору, забезпечуючи більш адаптивний та прозорий підхід до управління ресурсами. Загалом дані

підходи дозволяють оптимізувати бізнес-процеси аграрних підприємств, забезпечуючи стійке управління ресурсами та підвищуючи розвиток аграрного сектору країни.

Реалізація проєктів МН передбачає структурований підхід, який охоплює такі ключові етапи як: навчання моделей, розгортання та підтримки моделі, вибір прогнозування, продукціоналізації та постійного використання моделі. З метою досягнення максимальної ефективності та якості результатів в сфері АПК для етапу навчання моделей рекомендовано застосування таких сервісів: *добір гіперпараметрів та масштабоване навчання на великих наборах даних*. Для автоматизації та оптимізації процесу добору гіперпараметрів моделей машинного навчання рекомендовано сервіси SageMaker Automatic Model Tuning або Azure HyperDrive. Дані інструменти забезпечують ефективний пошук оптимальних значень параметрів, що впливають на продуктивність та якість моделі, підвищують точність моделювання даних. Для швидкого навчання моделей з високою точністю доцільно використовувати платформи, що підтримують розподілене навчання на великих наборах даних, такі як Google AI Platform чи Azure Machine Learning. Такі інструменти сприяють швидкому процесу розробки моделей та підвищити їхню ефективності, що важливо для складних бізнес процесів, таких як прогнозування у сфері АПК.

Для ефективного розгортання та підтримки моделей МН пропонується використання низки сучасних підходів і технік, що забезпечують масштабованість і безперервність їх роботи: *контейнеризація, розробка API для прогнозування, моніторинг*.

Використання сучасних технологій контейнеризації, таких як Docker і Kubernetes, спрощує процес інтеграції моделей у різні середовища та дозволяє зробити її більш переносною та масштабованою. Наприклад, Azure Kubernetes Service (AKS) забезпечує управління кластерами контейнерів для розгортання моделей, що корисно для обробки великих наборів даних або запитів у режимі реального часу.

Розробка інтерфейсу програмування застосунків (API) для прогнозування передбачає налаштування RESTful API для забезпечення інтеграції з іншими системами та платформами, що використовуються для управління різними бізнес-процесами в АПК. Даний API дозволяє користувачам, зокрема аграріям, отримувати точні та актуальні прогнози щодо врожайності, ринкових цін або інших показників аграрного сектору в режимі реального часу. Завдяки таким рішенням, представники АПК різних рівнів та інші зацікавлені сторони можуть швидко адаптувати свої стратегії на основі актуальних даних, що сприяє підвищенню ефективності ведення їх бізнесу та прийняття більш обґрунтованих рішень. Використання інструментів для моніторингу, таких як Amazon CloudWatch або Microsoft Azure Monitor, для відстеження роботи моделі та її ефективності. Дані рішення дозволяють відстежувати метрики такі як точність прогнозів, загальну продуктивність системи тощо. Завдяки цим даним доступна можливість ідентифікувати концептуальний зсув чи погіршення якості прогнозів, що може вказувати на необхідність коригування моделі або оновлення наявних даних.

Реалізоване таким чином рішення щодо прогнозування цін дозволяє переглядати поточні ринкові ціни в розрізі: ринків та видів продукції.

- *аналіз цін за ринками*: користувач може вказати назву країни, регіону чи певного ринку, після чого натиснути кнопку “ринок”. В такому випадку система відобразить користувачеві ціни на всі товари, що доступні на обраному ринку у графічному форматі, що дозволяє зручно аналізувати цінові тенденції різних продуктів на одній шкалі. Дана функція направлена допомогти кінцевим споживачам прийняти зважене рішення щодо вибору товарів для покупки. Крім того, користувачі мають можливість завантажувати дані в форматі .csv, що надає їм можливість здійснювати точний аналіз цін поза межами системи.

- *аналіз цін за видом продукції*: користувач може обрати назву країни, регіону та конкретний вид товару, після чого натиснути кнопку «продукція». За результатами вибору

система відобразить ціни на обраний товар на всіх ринках обраного регіону у графічному форматі, що дасть змогу користувачеві проаналізувати цінові показники для певного виду продукції в різних локаціях. Ця функція є корисною для оптових покупців, які потребують комплексного аналізу цінових даних для прийняття ефективних рішень. Крім того, такі дані можуть бути завантажені в табличному форматі (.csv), що дозволяє здійснювати детальний аналіз поза межами платформи.

Користувачам також надається можливість вибору методу прогнозування, що дозволяє передбачати оптові ціни на різні товари на наступні періоди. Процес прогнозування може бути реалізованим за допомогою сучасних методик регресії для аналізу часових рядів, що дозволяє враховувати історичні тенденції та сезонні коливання. Це дозволяє забезпечити представників аграрного бізнесу та фермерів необхідною інформацією для прийняття обґрунтованих рішень. Для побудови прогнозів використовують набір бібліотек Python, таких як pandas, numpy, scikit learn, seaborn і matplotlib. Набір даних ретельно аналізується за допомогою широкого спектра функцій, що доступні у бібліотеці pandas. Даний етап є ключовим у підготовці даних до подальшого моделювання та аналізу, оскільки забезпечує їх точність, узгодженість і структурованість.

Для кожної з визначених функцій розроблені APIendPoint, що підтримують модульність та ізолюваність моделей. Застосування контейнерів і мікросервісної архітектури забезпечує масштабованість рішення та його здатність обробляти велику кількість запитів одночасно, що дозволяє створити масштабовану, надійну та легко підтримувану систему для вирішення сучасних задач в сфері АПК. Впровадження системи моніторингу дозволяє забезпечити візуалізацію даних, тобто будувати різноманітні статичні та інтерактивні дашборди. Для цього використовують сучасні інструменти та бібліотеки, такі як pointplot, heat-map, barplot, kdeplot, distplot, pairplot, stripplot, jointplot, regplot тощо. Візуалізовані дані дозволяють відстежувати ключові метрики, аналізувати тренди, виявляти аномалії та визначати залежності між різними параметрами системи. Таким чином, інтеграція системи моніторингу з можливістю гнучкої візуалізації даних сприяє підвищенню ефективності аналізу великих наборів даних, швидкому прийняттю рішень під час управління різними бізнес-процесами АПК.

Для етапу *продукціоналізації та постійного використання моделі* в реальних умовах пропонується впровадження сучасних технік і інструментів для періодичного перенавчання моделі та обробки зсуву даних. Це включає наступні підходи:

- *автоматичне перенавчання*: регулярний збір нових даних з різних джерел для актуалізації моделей та автоматичний перезапуск навчання на основі оновлених даних, що дозволяє підвищити точність прогнозів і зберігати релевантність результатів;
- *моніторинг зсуву даних*: налаштування відстеження змін у структурі, розподілі даних або характеристиках вхідних даних з метою своєчасної адаптації моделі.

Такі техніки забезпечують гнучкість та адаптивність моделі до змін у зовнішньому середовищі, що дозволяє підтримувати високий рівень точності прогнозів та стабільності роботи системи за умов постійного оновлення даних. Такий підхід є важливим етапом у впровадженні МН у бізнес-процеси АПК з високою варіативністю даних.

На рис. 1 наведено приклад реалізації рішення для прогнозування стану полів, яке побудоване на основі хмарної інфраструктури Microsoft Azure. Дана архітектура демонструє інтеграцію сучасних хмарних технологій, що дозволяють забезпечити обробку великих наборів даних, аналітики та побудову складних моделей для потреб АПК. Основою цієї архітектури є використання хмарних сервісів для збору, зберігання та аналізу різнорідних даних, таких як метеорологічні показники, дані зі супутників, сенсорів IoT, економічні показники та історичні дані про врожайність тощо.



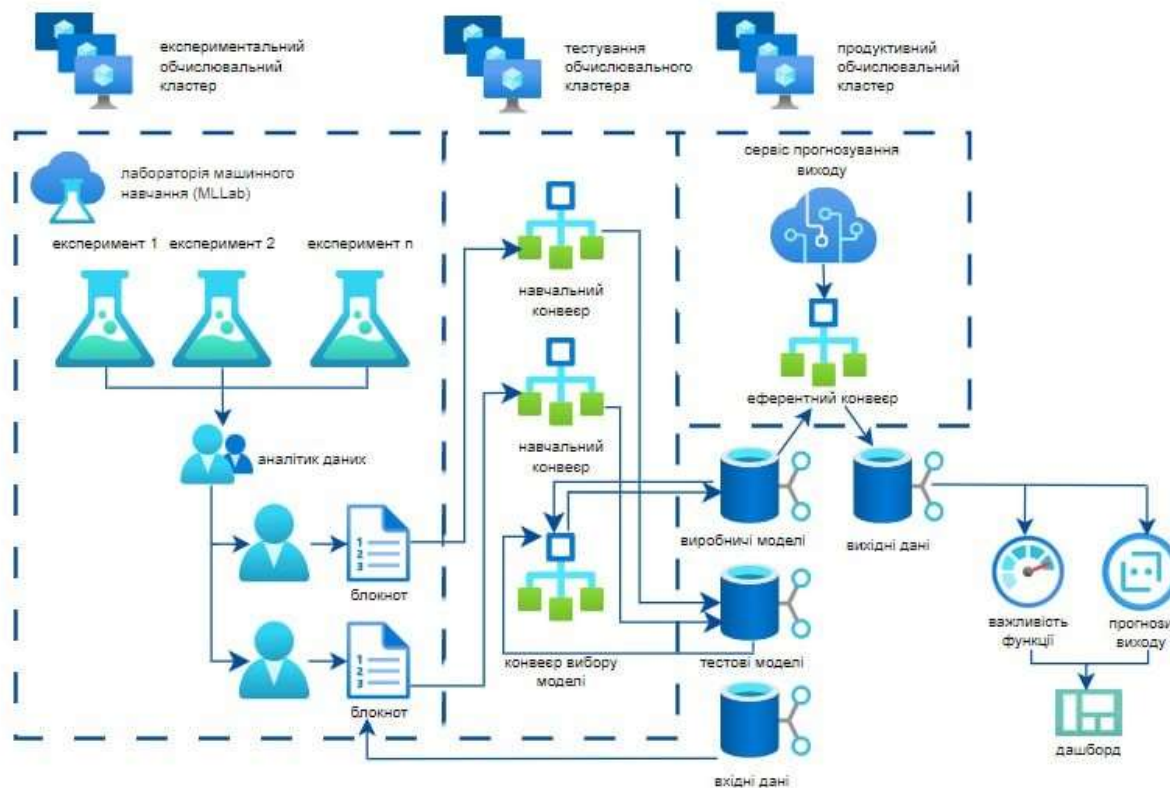


Рис. 1. Реалізація рішення з прогнозування стану полів на основі хмарної інфраструктури Microsoft Azure

Завдяки використанню сучасних алгоритмів МН та інструментів на основі ШІ пропонується архітектура, що підтримує автоматизацію складних бізнес-процесів АПК, зокрема аналізу даних і створення рекомендацій для прийняття ефективних рішень. Це дозволяє підприємствам АПК своєчасно реагувати на зміни умов, оптимізувати витрати, підвищувати ефективність управління ресурсами та мінімізувати ризики, пов'язані з погодними аномаліями та іншими зовнішніми факторами. Однією з ключових цілей сучасних технологій є створення доступних і простих у використанні рішень, наприклад для малих фермерських господарств, які мають обмежені ресурси. Впровадження таких рішень включає наступні аспекти:

- *підключення до простих інтерфейсів:* отримання рекомендації через мобільні застосунки або через API, які можна інтегрувати вже з існуючими CRM-системами, що забезпечить безшовну взаємодію з наявними бізнес-процесами фермерів;

- *просте налаштування моделей:* використання AutoML-рішень (наприклад, AWS SageMaker, Google AutoML або Azure Machine Learning) для автоматизації процесу створення, налаштування та навчання моделей, з метою зменшення потреби в спеціальних технічних знаннях і вміннях;

- *консультації на основі рекомендацій:* можливість надати інтерфейс, який пропонує персоналізовані рекомендації щодо культур, сезонів, добрив або прогнозованих ринкових умов для малих фермерів на основі їх даних.

Загалом, представлена архітектура демонструє значний потенціал для впровадження інноваційних рішень у сферу АПК, сприяючи цифровій трансформації аграрної галузі та забезпечуючи її сталий розвиток. Вона дозволяє оптимізувати робочі процеси, покращувати точність прогнозування, ефективно управляти ресурсами й адаптуватися до сучасних викликів.

**Висновок**

Впровадження хмарних рішень АПК дозволяє забезпечити доступ до масштабованих обчислювальних ресурсів, зручних платформ для управління великими наборами даних та передових інструментів бізнес-аналітики. Це сприяє вирішенню складних завдань, таких як прогнозування врожайності, моніторинг стану полів, аналіз ринкових цін та оптимізація ресурсів. Створення та реалізація проектів МН, на таких платформах, як Microsoft Azure, пропонує значний потенціал для трансформації сільського господарства шляхом підвищення ефективності, продуктивності та стійкості. Представлена архітектура прогнозування стану полів на основі хмарної інфраструктури Microsoft Azure демонструє можливості інтеграції сучасних технологій для обробки великих наборів даних, аналізу та створення складних моделей. Це сприяє оптимізації бізнес-процесів аграрних підприємств, забезпечуючи стійке управління ресурсами та підвищення ефективності.

Дане дослідження може бути корисним для фахівців, які займаються питаннями цифрової трансформації аграрного сектору, розробникам, що створюють хмарні рішення для підтримки сільськогосподарської діяльності, а також фермерам та аграріям.

**Список використаної літератури**

1. Згурська О., Корчинська О., Рубель К., Кубів С., Тарасюк А., Головченко О. Цифровізація національного агропромислового комплексу: нові виклики, реалії та перспективи. Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії і практики. 2022. Вип. 6, №47. С. 388–399. <https://doi.org/10.55643/fcaptp.6.47.2022.3929>
2. Finger R. Digital innovations for sustainable and resilient agricultural systems. *European Review of Agricultural Economics*. 2023. Vol. 50, No 4. P. 1277–1309. <https://doi.org/10.1093/erae/jbad021>
3. Mohyuddin G., Khan M., Haseeb A., Mahpara S., Waseem M., & Saleh A. Evaluation of Machine Learning Approaches for Precision Farming in Smart Agriculture System: A Comprehensive Review. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12, P. 60155-60184. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3390581>
4. Anusha S. Rai A. & R. Srinivasa R. K. Challenges in Implementing AI Technology Smart Farming in Agricultural Sector – A Literature Review. *International Journal of Management, Technology, and Social Sciences*. 2024. Vol. 9, No. 2. P. 284-301. <https://doi.org/10.47992/ijmts.2581.6012.0357>
5. Liakos K., Busato P., Moshou D., Pearson S. & Bochtis D. Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*. 2018. *Sensors* 2018, Vol. 18, No. 2674. P. 1-29. <https://doi.org/10.3390/s18082674>
6. Araujo S., Peres R., Ramalho J., Lidon F. & Barata J. Machine Learning Applications in Agriculture: Current Trends, Challenges, and Future Perspectives. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, No. 12. P. 2976. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122976>
7. Sharma A., Jain A., Gupta P. & Chowdary V. Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 4843-4873. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415>
8. Кравченко В.М., Руденський Р.А., Волошин С.М., Корольчук В.І., Волошина Т.В. Інформаційне забезпечення проектів машинного навчання в агропромисловому комплексі: методи та підходи до підготовки даних. *Наука і техніка сьогодні*. 2024. Вип. 12, № 40. С. 1281-1293. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-12\(40\)-1281-1293](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-12(40)-1281-1293)
9. Akhter R. & Sofi S. Precision agriculture using IoT data analytics and machine learning. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. 2021. Vol. 34. P. 5602-5618. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUCI.2021.05.013>

10. McQueen R., Garner S., Nevill-Manning C. & Witten I. Applying machine learning to agricultural data. *Computers and Electronics in Agriculture*. 1995. Vol. 12, No. 4. P. 275-293. [https://doi.org/10.1016/0168-1699\(95\)98601-9](https://doi.org/10.1016/0168-1699(95)98601-9)
11. Rajkumar S., Hirwani J. & Sanjeev S. Predictive Analysis of Crops Cultivation for a Smart Green Environment Using Azure Services. (2019). Vol. 7, No. 5S2. P.295-298. <https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v7i5s2/ES2051017519.pdf>