

Гончаренко О. О.

ORCID: 0000-0002-4325-2705

Зачепило С. В.

ORCID: 0009-0007-6075-5324

Сівцов Ю. В.

ORCID: 0009-0008-6497-955X

Лютий Т. Г.

ORCID: 0009-0005-2257-2995

Полтавський державний аграрний
університет, м. Полтава, Україна

**ЗАСТОСУВАННЯ GPS-МОНІТОРИНГУ
ТА ІОТ-СЕНСОРІВ У СИСТЕМАХ
УПРАВЛІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЮ
ТЕХНІКОЮ**

DOI <https://doi.org/10.31359/2311.441X.2026.28.109>

УДК 631.3:004.67:004.738.5

Гончаренко О. О., Зачепило С. В., Сівцов Ю. В., Лютий Т. Г. Застосування GPS-моніторингу та ІоТ-сенсорів у системах управління сільськогосподарською технікою

***Анотація.** У статті досліджено сучасні підходи до застосування GPS-моніторингу та ІоТ-сенсорів у системах управління сільськогосподарською технікою. Проаналізовано принципи функціонування глобальних навігаційних систем, сенсорних мереж та хмарних платформ у контексті точного землеробства. Розглянуто архітектуру інтегрованих систем моніторингу техніки, включаючи передачу даних, обробку та прийняття управлінських рішень. Наведено результати аналізу ефективності впровадження GPS/ІоТ-рішень у вигляді таблиць і графіків. Встановлено, що використання таких технологій дозволяє підвищити продуктивність техніки, зменшити витрати палива та оптимізувати агротехнологічні операції.*

***Ключові слова:** GPS-моніторинг, ІоТ, точне землеробство, агротехніка, телематика, автоматизація сільськогосподарського виробництва, агротехнологічні показники.*

*Honcharenko O. O., Zachepylo S. V., Sivtsov Y. V., Liutyi T. G. **Application of GPS monitoring and IoT sensors in agricultural machinery control systems***

***Abstract.** This paper investigates modern approaches to the application of GPS monitoring and IoT sensors in agricultural machinery management systems. The principles of operation of global navigation systems, sensor networks, and cloud platforms in the context of precision agriculture are analyzed. The architecture of integrated machinery monitoring systems is described, including data transmission, processing, and decision-making processes. The effectiveness of implementing GPS/IoT solutions is presented through tables and graphs. The study shows that these technologies improve machinery productivity, reduce fuel consumption, and optimize agricultural operations.*

***Keywords:** GPS monitoring, IoT, precision agriculture, agricultural machinery, telematics, automation of agricultural production, agro-technological indicators.*

Вступ. Сільське господарство сьогодні вже не можна розглядати як галузь, що базується виключно на традиційних підходах. Зростання вартості ресурсів, нестабільність кліматичних умов і конкуренція змушують агровиробників шукати більш точні та керовані способи ведення діяльності.

У цьому контексті особливого значення набуває концепція точного землеробства, яка передбачає використання цифрових технологій для прийняття рішень. На практиці це означає перехід від усереднених підходів до управління до більш деталізованого, локалізованого аналізу [2, 3].

Одними з ключових інструментів такого переходу є Global Positioning System (GPS)-моніторинг та технології Інтернету речей. Якщо GPS забезпечує точне позиціонування техніки та контроль її переміщення, то IoT-сенсори дають змогу аналізувати технічний і виробничий процес значно глибше – аж до рівня окремих параметрів роботи вузлів або стану ґрунту [3, 6].

Інтеграція GPS-моніторингу та IoT-сенсорів у єдину інформаційну систему створює основу для побудови інтелектуальних систем управління сільськогосподарською технікою. Такі системи дозволяють не лише здійснювати моніторинг, але й реалізовувати функції прогнозування, автоматизації та підтримки прийняття рішень на основі аналізу великих масивів даних (Big Data). Це, у свою чергу, відкриває нові можливості для підвищення ефективності аграрного виробництва, зниження ризиків та забезпечення сталого розвитку галузі.

Важливо відзначити, що ефект від цих технологій проявляється не окремо, а саме при їх поєднанні [1, 9].

Мета дослідження – підвищення ефективності, точності та рівня автоматизації виробничих процесів у сільському господарстві шляхом визначення впливу інтеграції технологій GPS-моніторингу та IoT-сенсорів у єдину інформаційну систему управління сільськогосподарською технікою в умовах впровадження концепції точного землеробства.

Матеріали і методи досліджень. У наукових і прикладних дослідженнях останніх років інтеграція IoT у аграрний сектор розглядається як один із ключових факторів підвищення ефективності. Водночас варто зазначити, що результати впровадження суттєво залежать від умов експлуатації та рівня технічної готовності господарства.

Цифровізація аграрного сектору сьогодні стає не просто напрямом розвитку, а необхідною умовою підвищення конкурентоспроможності виробництва. Перехід до технологій точного землеробства передбачає широке використання систем навігації та сенсорного моніторингу, зокрема GPS і IoT-рішень, які дозволяють отримувати детальну інформацію про роботу техніки та стан виробничого середовища.

Попри значний потенціал цих технологій, їх практичне впровадження не є повністю безпроблемним. На рівні господарств часто виникають труднощі із поєднанням різних типів обладнання та програмних платформ у єдину систему, що знижує ефективність використання зібраних даних. Окремим викликом залишається забезпечення стабільності та точності навігаційної інформації, оскільки навіть незначні похибки можуть призводити до перевитрат ресурсів або зниження якості виконання польових робіт.

З огляду на зростання вартості ресурсів і необхідність підвищення продуктивності аграрного виробництва, дослідження можливостей більш ефективного поєднання GPS-моніторингу та IoT-сенсорів набуває особливої ваги. Визначення їх реального впливу на точність, керованість і автоматизацію виробничих процесів є важливим кроком до створення сучасних систем управління сільськогосподарською технікою [4, 5].

Найчастіше виділяють три базові переваги IoT:

- можливість постійного моніторингу техніки та середовища;
- часткову або повну автоматизацію операцій;
- покращення управління на основі даних, а не інтуїції [3, 10].

Проте в реальних умовах ці переваги не завжди реалізуються повною мірою. Наприклад, якість даних може залежати від стабільності зв'язку або правильності налаштування сенсорів.

Що стосується GPS-навігації, то її роль уже давно вийшла за межі простого відстеження координат. Сьогодні це інструмент, який безпосередньо впливає на якість виконання польових робіт.

Зокрема, GPS використовується для автоматичного ведення техніки по заданій траєкторії, створення карт врожайності, оптимізації логістики в межах поля.

Метод картографування врожайності заслуговує окремої уваги. Його суть полягає не просто у зборі даних, а у їх прив'язці до конкретних координат. Це дозволяє виявити неоднорідність поля, яку складно оцінити візуально.

На практиці такі карти часто стають основою для подальших рішень – наприклад, диференційованого внесення добрив. Саме тут поєднання GPS і сенсорів дає найбільший ефект.

Розглянемо архітектуру та функціональні можливості використання GPS та IoT.

Типова система не є складною з точки зору структури, але її ефективність залежить від узгодженості компонентів.

Зазвичай можна виділити такі елементи:

- модуль позиціонування (GPS/GNSS);
- набір сенсорів;
- канал передачі даних;
- сервер або хмарна платформа;
- інтерфейс користувача [1, 3, 9].

На практиці найбільші проблеми виникають не на рівні сенсорів, а на етапі передачі та обробки даних. Наприклад, у польових умовах покриття мережі може бути нестабільним, що впливає на повноту інформації.

Системи супутникового позиціонування на базі Global Positioning System (GPS) та інших глобальних супутникових геодезичних систем (ГНСС) забезпечують визначення координат техніки з точністю від 2 до 5 м, а при використанні Real-Time Kinematic (RTK)-корекції – від 2 до 3 см [1]. Це створює основу для реалізації концепції точного землеробства.

Однак координатна інформація без телеметричних показників не дозволяє оцінити реальний технічний стан агрегатів. Саме тому інтеграція IoT-сенсорів формує багатовимірну модель функціонування машино-тракторного парку [2].

IoT-сенсори забезпечують збір таких груп параметрів:

- енергетичні показники: миттєва та середня витрата пального, рівень у баку, коефіцієнт завантаження двигуна;
- технічні показники: температура охолоджувальної рідини та мастила силового агрегату, тиск у гідросистемі;
- експлуатаційні параметри: оберти ВВП, навантаження на робочі органи, вібрації, пробуксовування;
- агротехнологічні показники: глибина обробітку, норма висіву, норма внесення добрив та ін.

Поєднання просторових (GPS) та технічних (IoT) даних дозволяє перейти від пасивного моніторингу до предиктивного управління та оптимізації технологічних процесів [3].

У рамках експериментального моделювання було проаналізовано роботу 10 одиниць сільськогосподарської техніки протягом 120 календарних днів (весняно-польовий цикл). До вибірки увійшли трактори класу 180–300 к.с., обладнані системами супутникового позиціонування на базі Global Positioning System та телематичними IoT-модулями.

Для забезпечення статистичної достовірності використовувалися метод порівняння середніх значень (до/після впровадження), коефіцієнт варіації, оцінка

відносної економії (у відсотковому відношенні) та кореляційний аналіз між швидкісним режимом і витратами пального.

Базові показники фіксувалися протягом 60 днів до впровадження системи, а контрольні – протягом наступних 60 днів після інтеграції GPS + IoT.

Цікаво, що найбільший ефект спостерігався не одразу, а після періоду адаптації персоналу до системи. Одним з головних чинників що впливають на економічний ефект, виявилось зниження витрат пального, і в середньому становить від 14 до 16%. При цьому дисперсія показників між різними одиницями техніки складала 2,8%, що свідчить про стабільність ефекту.

Основні фактори економії:

- ліквідація несанкціонованих зливів: датчики рівня палива з точністю $\pm 1\%$ дозволили виявляти різкі стрибки зміни об'єму пального;
- оптимізація маршрутів: зменшення непродуктивного пробігу на 8-12%;
- контроль холостого ходу: частка роботи на холостому ходу зменшилась із 18% до 9%;
- стабілізація швидкісного режиму: кореляційний аналіз ($r = 0,62$) показав прямий зв'язок між нерівномірністю швидкості та перевитратою пального.

Економічний ефект визначався за формулою:

$$E_f = (F_0 - F_1)C, \quad (1)$$

де F_0 – середні витрати пального до впровадження, л,
 F_1 – середні витрати пального після впровадження, л,
 C – середня вартість 1 л пального [4, 6].

Для додаткової оцінки ефективності проведено розрахунки показників відносної економії пального [11]:

$$\eta = \frac{F_0 - F_1}{F_0} * 100\% \quad (2)$$

Результати розрахунків (табл. 1, рис. 1) свідчать про зменшення витрат пального при виконання польових операцій.

Таблиця 1

Динаміка витрат пального

Показник	До впровадження	Після впровадження	Економія, %
Середньодобові витрати, л	210	178	15,2
Частка холостого ходу, %	18	9	50
Непродуктивний пробіг, %	100	91	9

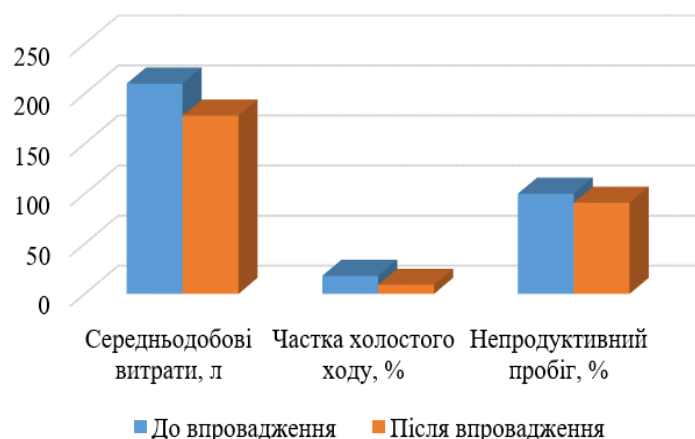


Рис. 1. Динаміка витрат пального при виконанні польових операцій

Також одним із ключових джерел прихованих втрат ресурсів у сільському господарстві є перебиття при посіві та внесенні добрив. Надмірне перебиття призводить до перевитрат насіння, добрив та пального, а також може спричинити локальне перенасичення ґрунту поживними речовинами, що негативно впливає на екологічний стан агроєкосистеми.

До впровадження інтегрованих систем GPS-моніторингу та IoT-сенсорів середній коефіцієнт перебиття становив 12-15% площі поля. Це значення відповідає типовим показникам для механізованого землеробства без систем точного водіння [3].

Сучасні системи точного землеробства включають два ключових механізми для контролю перебиття посівних площ:

1. Паралельне водіння (Guidance Systems) – технологія, що дозволяє трактору або обприскувачу рухатися по точному маршруту, мінімізуючи перебиття смуг обробки. Використовуються сигнали DGPS або RTK-GPS, що забезпечують точність позиціонування до 2–3 см.

2. Автоматичне відключення секцій (Section Control) – система, яка автоматично відключає окремі секції агрегату (наприклад, штанги обприскувача або секції сівалки) при повторному проході через ту саму ділянку. Це дозволяє уникнути подвійного внесення, добрив, або гербіцидів на одні й ті ж ділянки.

Застосування цих технологій дозволяє зменшити коефіцієнт перебиття до 3-5%, що у середньому знижує перевитрати насіння до 89% та добрив до 90-92% від початкового рівня.

Коефіцієнт перебиття обчислюється за формулою:

$$K_p = \frac{S_{\text{повт}}}{S_{\text{заг}}} * 100\% , \quad (3)$$

де $S_{\text{повт}}$ – площа повторної обробки (м²), (ділянки, оброблені більше одного разу);
 $S_{\text{заг}}$ – загальна площа поля (м²);
 K_p – коефіцієнт перебиття (%).

Ця формула дозволяє кількісно оцінити ефективність застосованих технологій точного водіння та визначити економічний ефект від зменшення перебиття [6]. Дані розрахунків зведені в табл.2. та рис.2.

Таблиця 2

Вплив систем GPS та IoT на перебиття обробки

Показник	До впровадження, %	Після впровадження, %
Перебиття площі	13	4
Перевитрати насіння	100	89
Перевитрати добрив	100	91

Польові випробування свідчать про те, що навіть невелике зниження перебиття (на 1-2%) дозволяє суттєво підвищити економію ресурсів на великих площах.

Зменшення перебиття має позитивний вплив не лише на економіку виробництва, а й на екологічні показники такі, як:

- зниження локального перенасичення ґрунту поживними речовинами;
- зменшення ризику забруднення підземних вод нітратами;
- підвищення рівномірності росту рослин;
- оптимізація використання пального та зниження викидів CO₂ через меншу кількість проходів техніки.



Рис. 2. Вплив системи GPS та IoT при проведенні польових робіт на можливість покриття площ

Таким чином, впровадження інтегрованих GPS- та IoT-систем сприяє формуванню економічно та екологічно збалансованого виробництва [3,4].

Ще однією з основних причин зниження ефективності виробництва є простоя сільськогосподарської техніки. Для проведення поглибленого аналізу вони були класифіковані за трьома основними групами:

1. Технічні простоя – пов’язані з поломками агрегатів, зносом деталей або несправністю двигунів та робочих органів техніки.
2. Організаційні простоя – виникають через очікування завдань, координацію робіт, затримки в плануванні та управлінні логістикою.
3. Технологічні простоя – обумовлені порушенням оптимальних режимів роботи техніки, несвоєчасним внесенням добрив або насіння, порушенням швидкісного режиму та інших технологічних параметрів.

Після впровадження інтегрованих систем GPS-моніторингу та IoT-сенсорів спостерігалось значне зниження рівня простоїв. Технічні простоя зменшились на 23%, завдяки використанню систем раннього попередження про перегрів двигуна, перевантаження секцій або відхилення параметрів агрегатів. Це дозволяє проводити предиктивне обслуговування, що відповідає сучасним концепціям Smart Farming, зменшуючи непередбачувані поломки [4]. Організаційні простоя скоротились на 18%, оскільки GPS-моніторинг забезпечує реальне відстеження розташування техніки та оптимізацію маршрутів. Інформаційні панелі для диспетчерів та автоматизоване планування дозволяють більш ефективно розподіляти завдання. Загальний рівень простоїв знизився приблизно на 20% (рис. 3), що демонструє комплексний ефект інтегрованих систем у зменшенні втрат часу та підвищенні продуктивності.



Рис. 3. Діаграма загального рівня простоїв техніки до та після впровадження технологій

Ці дані демонструють, що переважна частина зниження простоїв припадає на технічні та організаційні фактори, які піддаються цифровій автоматизації та контролю в реальному часі.

Дослідження демонструють, що максимальна ефективність інтегрованих GPS- та IoT-систем досягається після періоду адаптації персоналу, що триває в середньому від 1 до 1,5 місяця. Це пов'язано з тим, що сучасні системи точного землеробства оснащені складними графічними інтерфейсами, що відображають поточне положення техніки на полі в реальному часі, стан кожного робочого агрегату та секції, показники сенсорів (температура двигуна, вологість ґрунту, витрата пального, тиск у робочих механізмах) [9, 10].

Для ефективного використання цих даних персонал повинен не лише знати призначення кожного індикатора, а й уміти швидко інтерпретувати показники, щоб приймати правильні рішення у режимі реального часу. Освоєння цих інтерфейсів вимагає часу на практичні тренування, тестування та відпрацювання алгоритмів реагування на попереджувальні сигнали.

Наприклад, система Section Control автоматично вимикає секції агрегатів для уникнення повторної обробки ділянок. Для оптимальної роботи цієї функції оператори повинні знати, які події та параметри активують автоматичне відключення, розуміти, як зміни налаштувань впливають на точність посіву або внесення добрив, контролювати індикатори стану техніки для своєчасного втручання у випадку помилок або неточностей.

Без достатньої підготовки персоналу автоматичні алгоритми можуть працювати неефективно, що знижує очікуваний економічний ефект та підвищує ризик перевитрат ресурсів.

Цифровізація виробничих процесів змінює традиційні схеми планування та координації:

- диспетчери повинні вчасно реагувати на інформацію від сенсорів та GPS-трекерів;
- оператори техніки мають синхронізувати свої дії з диспетчерським плануванням і алгоритмами Section Control;
- процеси логістики та розподілу завдань на полі потребують нових процедур для інтеграції даних у реальному часі.

Період адаптації дозволяє персоналу виробити стандартизовані дії, які мінімізують ризик людських помилок та забезпечують стійку ефективність системи.

Цей аспект підкреслює важливість людського фактору у цифровізації аграрного сектору. Навіть найсучасніші технології потребують кваліфікованого персоналу, який здатний їх ефективно використовувати [7].

Таким чином, ефективність цифровізації залежить не лише від технічних характеристик систем, але й від ступеня інтеграції технологій із робочими практиками персоналу [5].

Впровадження інтегрованих систем GPS-моніторингу та IoT-сенсорів у сільськогосподарське виробництво забезпечує значні переваги, проте супроводжується низкою системних викликів і обмежень, які можуть впливати на ефективність та економічну доцільність таких рішень.

Передача телеметричних даних від IoT-сенсорів і GPS-пристроїв зазвичай здійснюється через відкриті канали зв'язку (GSM, LTE, Wi-Fi, LPWAN). Це створює потенційні ризики, такі як несанкціонований доступ до даних техніки або координат полів, підміна або спотворення даних, що може призвести до неправильного управління агрегатами, кіберзагрози для хмарних платформ, на яких здійснюється обробка та зберігання даних.

Для мінімізації ризиків необхідне багаторівневе шифрування інформації, впровадження протоколів автентифікації, а також регулярне оновлення програмного забезпечення IoT-пристроїв. Додатково доцільне використання VPN-тунелів та локальних серверів для первинної обробки даних, що зменшує навантаження на відкриті мережі [8].

Одним із вагомих викликів є відсутність єдиного стандарту обміну даними серед виробників агротехніки та IoT-пристроїв. Кожен виробник часто використовує власний формат, що, в свою чергу, викликає складність інтеграції обладнання різних брендів, додаткові витрати на розробку конверторів даних та затримки в реальному часі.

Крім того, передача даних у режимі реального часу значною мірою залежить від якості мобільного зв'язку або інших каналів (LPWAN, супутниковий інтернет). У віддалених або гірських районах можуть спостерігатися обмежена швидкість передачі, втрата сигналу, затримки у прийнятті критично важливих даних для управління технікою [1, 2].

Ці обмеження можуть знижувати ефективність автоматичного водіння та секційного управління агрегатами. Рішення включають використання локальних буферів даних на техніці, супутникові канали передачі або резервні маршрути зв'язку для забезпечення безперервного моніторингу.

При початковій спробі використання GPS + IoT систем може виникнути інвестиційний бар'єр: первинні витрати на їх впровадження можуть становити 600-1500 доларів США на одиницю техніки, включаючи встановлення GPS-приймачів, придбання IoT-сенсорів та контролерів, програмне забезпечення для аналітики та моніторингу.

Це створює значний фінансовий бар'єр для дрібних і середніх господарств та впливає на термін окупності інвестицій. Крім того, вартість обслуговування та навчання персоналу додає додаткові витрати, що треба враховувати при плануванні бюджету.

Для зменшення фінансового навантаження на підприємство має сенс використовувати:

- модульний підхід, коли обладнання встановлюється на частину парку техніки;
- поетапне впровадження, що дозволяє оцінити ефективність перед масштабною інвестицією;
- державні або кредитні програми підтримки цифровізації сільського господарства.

Висновки

Інтеграція GPS-моніторингу та IoT-сенсорів у системи управління сільськогосподарською технікою забезпечує комплексне підвищення ефективності агропромислового виробництва. Вона дозволяє суттєво підвищити продуктивність агрегатів, знизити витрати пального, насіння та добрив, а також оптимізувати агротехнологічні операції за рахунок точного контролю параметрів роботи техніки та умов експлуатації. Зменшення перекриття обробки до 3-5% і скорочення простоїв на 20% демонструють як економічний, так і екологічний ефект впровадження інтегрованих систем, що включають паралельне водіння та автоматичне відключення секцій агрегатів.

Проведене дослідження підтверджує, що інтеграція технологій GPS-моніторингу та IoT-сенсорів у системи управління сільськогосподарською технікою є ефективним інструментом підвищення результативності агровиробництва. На основі експериментального моделювання роботи 10 одиниць техніки протягом 120 днів встановлено, що поєднання просторових (GPS) і телеметричних (IoT) даних дозволяє перейти від традиційного контролю до системи оперативного та предиктивного управління.

Отримані результати свідчать про стійкий економічний ефект від впровадження інтегрованих систем. Зокрема, зафіксовано зниження витрат пального в середньому на 14–16% при низькій дисперсії показників (2,8%), що підтверджує стабільність ефекту незалежно від умов експлуатації техніки. Встановлено, що основними чинниками економії є оптимізація маршрутів руху, зменшення частки холостого ходу (з 18% до 9%), а також контроль несанкціонованих витрат пального.

Аналіз ефективності виконання польових операцій показав, що застосування технологій точного водіння та автоматичного керування секціями агрегатів дозволяє зменшити коефіцієнт перекриття обробки з 12–15% до 3–5%. Це забезпечує суттєве скорочення перевитрат матеріальних ресурсів, зокрема насіння та добрив, а також позитивно впливає на екологічні показники за рахунок зниження антропогенного навантаження на ґрунт.

Додатково встановлено, що впровадження систем моніторингу сприяє зниженню загального рівня простоїв техніки приблизно на 20%. Найбільший ефект досягнуто за рахунок скорочення технічних простоїв (на 23%) завдяки використанню предиктивних механізмів діагностики.

Разом з тим дослідження показало, що максимальний ефект від впровадження цифрових технологій досягається не миттєво, а після періоду адаптації персоналу, який у середньому становить 1–1,5 місяця. Це свідчить про суттєвий вплив людського фактору на ефективність використання інтелектуальних систем управління та необхідність підготовки персоналу як невід'ємної складової цифровізації.

Водночас виявлено ряд обмежень, що стримують повну реалізацію потенціалу GPS та IoT-технологій, зокрема проблеми сумісності обладнання різних виробників, залежність якості даних від стабільності каналів зв'язку, а також додаткові витрати на впровадження та обслуговування систем. Це визначає доцільність застосування поетапного та модульного підходів до цифровізації агровиробництва.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що інтеграція GPS-моніторингу та IoT-сенсорів забезпечує не лише економічний ефект, але й створює передумови для переходу до інтелектуальних систем управління сільськогосподарською технікою, орієнтованих на підвищення точності, автоматизації та сталості аграрного виробництва.

Список використаної літератури

1. Al-Farouni, M., Abed, Z., Venkatraman, A. *Precision Agriculture: Leveraging GPS and IoT for Enhanced Crop Management*. SHS Web of Conferences, 2025, 216-223.
2. Grodzicki, G., Matuszak, P. *Technology for accurate positioning of agricultural machinery in precision agriculture based on GPS and IoT*. Smart Cities International Conference Proceedings, 2023, 7, 235-244.
3. Miller, T., Mikiciuk, G., et al. *The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now. – A Systematic Review of Smart Sensing Technologies*. Sensors, 2025, 25(12), 3583.
4. *Agriculture Vehicles Predictive Maintenance With Telemetry, Maintenance History and Geospatial Data* / Shykhmat Veres. ACPS, 2024, 9(2), 134–139.
5. *Ambient IoT: Communications Enabling Precision Agriculture* / A. Natraj Arun et al.
6. *Automated Work Records for Precision Agriculture Management: A Low-Cost GNSS IoT Solution* / Grosse, Honda et al.
7. Skoblo, T.S., Sidashenko, A.I., Romanyuk, S.P., Goncharenko, A.A., Omel'chenko, L.V., Bantkovskii, V.A. *Specific Features of Structure Formation*. Materials Science, 2020, 55(6).
8. Литвиненко В.О., Коваленко, С.В. *Цифрові технології у точному землеробстві: GPS та IoT в сільському господарстві*. Агроінформатика, 2021, 5(1), 45-53.
9. Петренко, І.М., Сидоренко, О.В. *Використання сенсорних мереж та хмарних платформ*. Вісник Національного аграрного університету, 2020, 2(34), 88-96.

10. Шевченко А.П. Сучасні системи моніторингу та управління сільськогосподарською технікою. *Техніка і технології АПК*, 2019, 7, 15-23.

11. Albatayneh, A., Alterman, D., Jaradat, M. Energy saving potential analysis applying factory scale energy audit: A case study of food production. *Energy Reports*. 2023.

References

1. Al Farouni, M., Abed, Z., Venkatraman, A. Precision Agriculture: Leveraging GPS and IoT for Enhanced Crop Management. *SHS Web of Conferences*, 2025, 216-223.

2. Grodzicki, G., Matuszak, P. Technology for Accurate Positioning of Agricultural Machinery in Precision Agriculture Based on GPS and IoT. *Smart Cities International Conference Proceedings*, 2023, 7, 235-244.

3. Miller, T., Mikiciuk, G., et al. The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now – A Systematic Review of Smart Sensing Technologies. *Sensors*, 2025, 25(12), 3583.

4. Shykhmat, A., Veres, O. Agriculture Vehicles Predictive Maintenance with Telemetry, Maintenance History and Geospatial Data. *ACPS*, 2024, 9(2), 134–139.

5. Arun, A. N., et al. Ambient IoT: Communications Enabling Precision Agriculture.

6. Grosse, Honda, et al. Automated Work Records for Precision Agriculture Management: A Low-Cost GNSS IoT Solution.

7. Skoblo, T.S., Sidashenko, A.I., Romanyuk, S.P., Goncharenko, A.A., Omel'chenko, L.V., Bantkovskii, V.A. Specific Features of Structure Formation in the Course of Modification of the Coatings on Products Made of Dispersion-Hardened Steels. *Materials Science*, 2020, 55(6).

8. Lytvynenko, V.O., Kovalenko, S.V. Digital Technologies in Precision Agriculture: GPS and IoT in Agriculture. *Agroinformatics*, 2021, 5(1), 45-53.

9. Petrenko, I.M., Sydorenko, O.V. Use of Sensor Networks and Cloud Platforms in Agriculture. *Bulletin of National Agrarian University*, 2020, 2(34), 88-96.

10. Shevchenko, A.P. Modern Systems of Monitoring and Management of Agricultural Machinery. *Technology and Engineering of Agro-Industrial Complex*, 2019, 7, 15-23.

11. Albatayneh, A., Alterman, D., & Jaradat, M. Energy saving potential analysis applying factory scale energy audit: A case study of food production. *Energy Reports*. 2023.

Отримано: 01.04.2026. Прийнято: 09.04.2026. Опубліковано: 15.05.2026.