

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЗЕМЛЕЗНАВСТВА ТА ГЕОМОРФОЛОГІЇ**

На правах рукопису
УДК: 631.15

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ТА
ТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

Галузь знань	10 Природничі науки
Спеціальність	103 Науки про Землю
Освітня програма	Ґрунтознавство, управління земельними ресурсами та територіальне планування

Кваліфікаційна робота бакалавра
студента 4 курсу
освітнього рівня бакалавр
Олійника Максима Анатолійовича

Науковий керівник:
к. геогр. н., доцент Ковтонюк
Ольга Володимирівна

КИЇВ – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	5
1.1. Поняття та сутність точного землеробства	5
1.2. Основні складові технології точного землеробства	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	15
2.1. Збір даних і характеристика джерел інформації	15
2.2. Методи порівняльного аналізу технологій	16
РОЗДІЛ 3. ТЕРИТОРІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	18
3.1. Опис території, де розташований об'єкт дослідження	18
3.2. Кліматична характеристика об'єкта дослідження	21
РОЗДІЛ 4. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ	24
4.1. Порівняння ефективності точного землеробства та традиційних методів. Раціональне використання ресурсів	24
4.2. Екологічні аспекти: зменшення антропогенного навантаження на ґрунт і навколишнє середовище	33
4.3. Практичні переваги і недоліки впровадження точного землеробства на досліджуваній території	35
РОЗДІЛ 5. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	38
5.1. Інноваційні технології в точному землеробстві: дрони, роботизовані системи	38
5.2. Вплив розвитку точного землеробства на територіальне планування	40
5.3. Рекомендації щодо впровадження технології в регіонах України	42
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових технологій сільське господарство зазнає глибоких трансформацій. Особливої уваги набуває концепція точного землеробства, яка дозволяє суттєво підвищити ефективність агровиробництва шляхом використання інноваційних засобів моніторингу, аналітики, автоматизації та оптимізації агротехнічних операцій. В умовах змін клімату, дефіциту природних ресурсів та необхідності забезпечення продовольчої безпеки, точне землеробство є перспективним напрямом сталого розвитку аграрного сектору України. Його впровадження сприяє скороченню витрат, підвищенню врожайності, зниженню екологічного навантаження на довкілля та потребує перегляду підходів до територіального планування. Актуальність дослідження також обумовлена потребою у впровадженні регіонально адаптованих технологій точного землеробства та підготовці відповідних фахівців.

Мета кваліфікаційної роботи. Метою даної кваліфікаційної роботи є аналіз сучасного стану, перспектив і регіональних особливостей впровадження технологій точного землеробства в Україні, а також обґрунтування їхнього впливу на агровиробничу ефективність і територіальне планування сільських громад.

Завдання:

- вивчити сутність та еволюцію концепції точного землеробства;
- проаналізувати інноваційні технології, що застосовуються в межах точного землеробства (дрони, роботизовані системи, AI, IoT тощо);
- з'ясувати вплив точного землеробства на просторову організацію агроландшафтів і сільське планування;
- описати регіональні особливості впровадження технологій точного землеробства в Україні та надати рекомендації з урахуванням природно-кліматичних і соціально-економічних умов;
- узагальнити перспективи розвитку точного землеробства як основи цифрової трансформації аграрного сектору.

Об'єктом дослідження є сучасні аграрні системи управління виробництвом у сільському господарстві.

Предметом дослідження виступають інноваційні технології точного землеробства та їх вплив на ефективність агровиробництва і просторове планування сільських територій.

Методологічна основа. У процесі дослідження використано загальнонаукові методи аналізу, синтезу, порівняння, класифікації, а також методи картографування, системного та структурно-функціонального аналізу. Теоретичну базу становлять наукові праці з агроінженерії, геоінформатики, просторового планування, зокрема роботи провідних вітчизняних і зарубіжних авторів, таких як П. Рембішевський, М. Войтюк, G.P. Zhang, а також практичні матеріали з цифрових платформ Cropio, EOS Crop Monitoring, Climate FieldView, тощо.

Структура кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається з п'яти розділів, вступу, висновків та списку використаних джерел. У роботі представлено 10 рисунків, 1 таблицю, використано 57 літературних джерел. Загальний обсяг роботи становить 55 сторінок.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

1.1. Поняття та сутність точного землеробства

Точне землеробство – це сучасний підхід до управління сільськогосподарським виробництвом, який базується на використанні високих технологій. В його основу закладено застосування систем глобального позиціонування (GPS), геоінформаційних технологій (GIS), сенсорів для оцінки врожайності, технологій змінного нормування внесення добрив, дистанційного зондування землі, а також рішень на основі Інтернету речей [47].

Головна ідея цього підходу полягає в тому, що навіть в межах одного поля існують значні відмінності у стані ґрунту та його продуктивності. Для виявлення цих відмінностей застосовуються сучасні технологічні інструменти: супутникові навігаційні системи (GPS, ГЛОНАСС, Galileo), спеціальні датчики, аерофотознімки та супутникові зображення, а також програмне забезпечення для аграрного менеджменту, яке базується на геоінформаційних системах [47].

Отримані дані допомагають аграріям точніше планувати посівні роботи, визначати оптимальні норми внесення добрив і засобів захисту рослин, прогнозувати врожайність та ефективніше розподіляти ресурси. Важливим аспектом точного землеробства є врахування локальних особливостей ґрунту та клімату, що дозволяє не лише підвищити ефективність господарювання, а й швидше виявляти можливі проблеми, такі як хвороби рослин або ущільнення ґрунту [47].

У західних штатах США точне землеробство сприймається не стільки як складова концепції сталого розвитку, скільки як інструмент підвищення прибутковості агробізнесу. Основна ідея полягає в раціональному використанні ресурсів, зокрема в тому, щоб вносити добрива тільки на тих ділянках поля, які справді цього потребують. Для цього агровиробники застосовують технології диференційованого внесення добрив, визначаючи оптимальні норми за допомогою GPS-приймачів та карт агрохімічного обстеження й урожайності. Завдяки такому

підходу на одних ділянках кількість добрив може бути зменшена, а на інших – збільшена, що дозволяє досягти більш ефективного їх використання [47].

Точне землеробство сприяє вдосконаленню агровиробництва за кількома ключовими напрямками. В агрономічному аспекті воно забезпечує точне дозування добрив відповідно до реальних потреб культур, що підвищує ефективність виробництва. З технічного погляду впровадження цих технологій покращує управління часом у господарстві, дозволяючи оптимізувати сільськогосподарські операції. У екологічному плані зменшується негативний вплив на довкілля, оскільки точне визначення потреб у добривах, зокрема азотних, допомагає скоротити їхнє надмірне використання. Нарешті, з економічної точки зору це сприяє підвищенню продуктивності та скороченню витрат, зокрема на добрива, що робить агробізнес більш рентабельним [47].

Цифровий облік та збереження даних про польові роботи й урожайність відіграють важливу роль у сучасному агробізнесі. Вони не лише спрощують процес прийняття рішень для майбутніх сезонів, а й дозволяють формувати детальну звітність про виробничий цикл. Така звітність стає дедалі актуальнішою через зростаючі вимоги з боку законодавства розвинених країн, яке спрямоване на підвищення прозорості та ефективності сільськогосподарського виробництва [47].

В Україні традиційно аграрне виробництво орієнтується на максимальну врожайність, що забезпечується не лише впровадженням сучасних технологій та техніки, але й завдяки відносно дешевій робочій силі, родючим ґрунтам і доступній вартості оренди землі. Проте ситуація поступово змінюється: витрати на податки зростають, зарплати підвищуються, а ринок землі не може залишатися закритим вічно. У таких умовах головним завданням для аграріїв стає оптимізація використання ресурсів і скорочення зайвих витрат. Саме таким шляхом ще 30 років тому пішли американські фермери, запровадивши точне землеробство. Цей підхід базується на використанні сучасних електронних датчиків, супутникових технологій, модернізації техніки та зміни норм внесення добрив залежно від реальних потреб поля [40].

Досвід світового аграрного сектору у впровадженні точного землеробства: першим кроком у точному землеробстві є аналіз ґрунту. В США цей процес став обов'язковим для більшості фермерів, адже висока орендна плата (від 400 до 1 000 доларів за гектар) вимагає максимально ефективного використання землі. За даними Міжнародної асоціації точного землеробства, близько 80% американських фермерів використовують GPS-технології для відбору та аналізу ґрунту, а в Канаді цей показник сягає 81%. Очікується, що ці цифри зростатимуть у майбутньому [40].

Активно розвиваються також цифрові технології в агробізнесі. Наприклад, 62% канадських фермерів застосовують технологію no-till, а 70% використовують автоматичні системи керування секціями обприскувачів, що значно скорочує витрати на добрива та засоби захисту рослин [40].

Важливою складовою ефективного точного землеробства є аграрний консалтинг. У США для обробки 1 000 га достатньо трьох працівників, а всі інші завдання передаються спеціалізованим компаніям. Аутсорсинг дозволяє отримати доступ до якісного агроаналізу, передових технологій і баз даних без необхідності інвестувати в створення власних лабораторій, купівлю безпілотників або наймання агрохіміків [40].

Стан точного землеробства в Україні: в Україні поки що немає системної статистики щодо поширення технологій точного землеробства. Окремі компанії, що працюють у цій сфері, надають свої оцінки ринку. Так, компанія «АгроЛаб» на початок року проаналізувала понад 1 млн. га ґрунтів, використовуючи автоматизовані системи відбору проб та картографування. Господарства, які скористалися цими послугами, також отримали доступ до «Порталу агронома» – платформи, що допомагає збирати й аналізувати дані для планування агротехнічних заходів [40].

Популярність точного землеробства в Україні зростає також через збільшення вартості мінеральних добрив. Технології диференційованого внесення дозволяють скоротити використання ресурсів до 40%, що значно знижує витрати [40].

Існує хибна думка, що такі технології доступні лише великим аграрним підприємствам. Насправді, з кожним роком точне землеробство дедалі активніше застосовують господарства, що мають від 1000 га земель. У світовій практиці технології використовують навіть дрібні фермери з площами від 50 га [40].

Наприклад, при використанні карт-завдань для внесення мінеральних добрив можна досягти суттєвої економії. Якщо певна зона поля не потребує фосфорних добрив, то їх перевитрата становила б 255 кг/га, а в іншій частині поля, де добрив не вистачає, дефіцит міг би сягати 65 кг/га. В результаті диференційоване внесення дозволяє зменшити витрати та водночас створити оптимальні умови для росту культур [40].

Безперечно, впровадження точного землеробства вимагає початкових фінансових вкладень, які можуть окупитися за 6–7 років. Проте враховуючи тенденції глобального аграрного ринку – подорожчання ресурсів та зростання конкуренції – інвестиції в новітні технології стають не просто вигідними, а необхідними [40].

Ті підприємства, які вже впровадили елементи точного землеробства, зазвичай продовжують їх розвивати й інтегрувати нові інструменти. Це підтверджується практичними результатами: наприклад, комплексний аналіз ґрунту дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів до 35%. Якщо взяти до уваги сучасні ціни на добрива, економія для господарства може бути значною [40].

Висновок очевидний: аграрії, які впроваджують точне землеробство, отримують конкурентні переваги та підвищують ефективність свого господарства.

1.2. Основні складові технології точного землеробства

Точне землеробство – це інноваційний підхід до ведення сільського господарства, який базується на використанні цифрових технологій, автоматизації процесів та точного управління ресурсами. Цей метод дає змогу аграріям оптимізувати витрати, підвищити врожайність і мінімізувати негативний вплив на довкілля [1, 3].

Основні складові технології точного землеробства включають [1]:

1. Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) (рисунок 1.1): точне землеробство неможливе без використання супутникових навігаційних систем. GPS, ГЛОНАСС, Galileo та BeiDou дозволяють з високою точністю визначати місцезнаходження сільськогосподарської техніки та інших елементів аграрної інфраструктури.



Рис. 1.1 Вигляд супутника GPS Block II-F на орбіті Землі [3]

Основні переваги GNSS у землеробстві [1]:

- автоматичне керування технікою, що мінімізує похибки при обробі ґрунту;
- зменшення перекриттів і прогалин при виконанні польових робіт, що скорочує витрати пального, добрив і засобів захисту рослин;

- точне визначення меж полів і створення електронних карт;

Завдяки впровадженню GNSS знижується залежність від людського фактора, що підвищує ефективність роботи.

2. Геоінформаційні системи (GIS) та агромоніторинг: геоінформаційні системи використовуються для аналізу та візуалізації просторових даних, отриманих із супутників, дронів та наземних датчиків. На рисунку 1.2 показаний приклад використання GIS при проведенні агромоніторингу [18].



Рис. 1.2 Приклад використання GIS при проведенні агромоніторингу [18]

Можливості GIS у точному землеробстві [1]:

- створення детальних карт ґрунтів, урожайності, вологості, кислотності та інших характеристик;
- виявлення проблемних зон на полях для коригування агротехнологій;
- прогнозування врожайності та аналіз впливу зовнішніх факторів.

Аналіз зібраних даних дозволяє аграріям приймати обґрунтовані рішення щодо обробки полів, вибору культур і застосування добрив.

3. Дистанційне зондування землі (ДЗЗ) та агродрони: використання супутникових та аерофотознімків дає змогу виявляти проблеми, які неможливо помітити неозброєним оком. На рисунку 1.3 показана робота агродрону [18].



Рис. 1.3 Приклад роботи агродрону [18]

Застосування дистанційного зондування [1]:

- моніторинг стану рослинності (NDVI-аналіз);
- визначення потреби в добривах і засобах захисту рослин;
- виявлення зон перезволоження або посухи.

Агродрони значно розширили можливості ДЗЗ, оскільки забезпечують швидке та високоточне обстеження полів. Деякі моделі також можуть виконувати обприскування та внесення добрив у важкодоступних місцях.

4. Технологія диференційованого внесення ресурсів (VRT – Variable Rate Technology): технологія змінного нормування передбачає використання добрив, насіння та засобів захисту рослин відповідно до потреб конкретних ділянок поля [1].

Основні переваги VRT [1]:

- раціональне використання ресурсів, що зменшує витрати;
- збільшення врожайності за рахунок більш ефективного внесення добрив;
- мінімізація впливу на навколишнє середовище.

VRT допомагає точно визначати норми внесення для різних зон поля, що підвищує ефективність агротехнологій.

5. Автоматизовані системи управління технікою: сучасна сільськогосподарська техніка оснащена системами автопілотування, які працюють на основі GNSS і GIS [1].

Приклади автоматизації [1]:

- безпілотні трактори (рисунок 1.4), що виконують оранку, сівбу та обробіток ґрунту;



Рис. 1.4 Приклад роботи безпілотного трактору [29]

- системи точного водіння, що знижують ризик людських помилок;
- інтелектуальні комбайни, які самостійно регулюють режими роботи залежно від стану врожаю.

Завдяки таким технологіям зменшується витрата пального, знижуються витрати на оплату праці та підвищується ефективність робіт.

6. Інтернет речей (IoT) у сільському господарстві: IoT дозволяє об'єднати всі пристрої на фермі в єдину інформаційну систему [1].

Приклади використання IoT:

- датчики вологості, температури та кислотності ґрунту;
- автоматизовані системи поливу, що коригують обсяг подачі води;
- контроль за станом сільгосптехніки та прогнозування її зношування.

IoT забезпечує постійний моніторинг усіх процесів у режимі реального часу [1].

7. Агрохімічний аналіз ґрунту та картографування: регулярний аналіз ґрунту дозволяє визначати його родючість, рівень рН, вміст азоту, фосфору та калію [1].

Переваги такого підходу [1]:

- оптимізація системи удобрення;
- запобігання виснаженню ґрунту;
- зниження витрат на добрива за рахунок точного внесення.

Дані аналізу використовуються для створення карт ґрунтових характеристик, що є основою для впровадження диференційованого землеробства.

8. Прогнозування погоди та моделювання врожайності: сучасні технології дозволяють з високою точністю прогнозувати погодні умови та їхній вплив на врожайність [1].

Застосування прогнозування [1]:

- оптимізація термінів сівби та збору врожаю;
- уникнення збитків через несприятливі погодні явища;
- планування агротехнічних заходів із мінімальними ризиками.

Програмне забезпечення, таке як ClearAg, допомагає аграріям приймати рішення на основі точних метеоданих.

9. Автоматизовані системи поливу: раціональне використання водних ресурсів є важливим завданням точного землеробства [1].

Сучасні методи зрошення [1]:

- датчики вологості, які контролюють рівень зволоження ґрунту;
- автоматичні системи, що регулюють подачу води залежно від потреб культури;
- впровадження крапельного зрошення для зменшення витрат води.

Такі системи сприяють рівномірному розподілу вологи та запобігають ерозії ґрунту.

10. Робототехніка у точному землеробстві: роботи та безпілотні системи поступово заміняють ручну працю [1].

Приклади впровадження робототехніки [1]:

- безпілотні трактори та комбайни;
- автоматизовані сівалки та обприскувачі;
- дрони для внесення добрив і боротьби зі шкідниками.

Використання робототехніки сприяє підвищенню продуктивності та зниженню виробничих витрат.

Технології точного землеробства дають змогу оптимізувати процеси агровиробництва, підвищити врожайність і скоротити витрати. Впровадження цифрових технологій та автоматизація польових робіт є необхідною умовою для підвищення конкурентоспроможності аграрного сектору в майбутньому.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Збір даних і характеристика джерел інформації

Для проведення порівняльного аналізу технології точного землеробства та традиційних методів обробітку ґрунту було зібрано інформацію з офіційних наукових джерел, матеріалів виробників сільськогосподарської техніки, державних установ, а також власних практичних спостережень. Підбір джерел здійснювався з урахуванням їх актуальності, достовірності та відповідності тематиці дослідження.

Теоретичну основу дослідження склали матеріали Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), де точне землеробство визначається як система управління сільським господарством, яка базується на використанні сучасних технологій для підвищення продуктивності та ефективності ресурсів [18]. Завдяки цим матеріалам вдалося отримати уявлення про основні принципи точного землеробства, включаючи диференційоване внесення добрив, контроль врожайності та моніторинг стану ґрунтів.

Джерелом технічної інформації про можливості сучасних агродронів, зокрема моделі XAG P100pro, став офіційний сайт компанії XAG [57]. Дана модель агродрона підтримує внесення як рідких, так і сухих добрив, а також обладнана системою точного позиціонування за допомогою RTK-антени.

Практичні дані для дослідження були зібрані під час виїзду навесні 2025 року на поле в Обухівському районі Київської області. Під час тестування агродрона XAG P100pro проводилося внесення аміачної селітри на окрему ділянку ріллі з максимальною нормою 100 кг/га. Керування здійснювалося за допомогою пульта, що дозволяло оперативно змінювати параметри внесення залежно від особливостей поля. Для підвищення точності встановлювалася RTK-антена, яка забезпечила похибку не більше кількох сантиметрів [28].

Опис традиційних методів обробітку ґрунту базувався на матеріалах Інституту землеробства НААН України, де висвітлено основні механічні способи обробітку, такі як оранка, боронування та дискування [32]. Ці дані дозволили

розкрити основні характеристики традиційних технологій, які залишаються поширеними в Україні.

Оскільки природно-кліматичні умови суттєво впливають на вибір технологій, у дослідженні використовувалися кліматичні дані Українського гідрометеорологічного центру, зокрема про середньорічну кількість опадів, середні температури та особливості вегетаційного періоду в Київській області [23].

Таким чином, для забезпечення всебічного аналізу були залучені як офіційні міжнародні і національні джерела, так і власні спостереження під час польових робіт. Це дало можливість об'єктивно порівняти ефективність технологій точного землеробства та традиційних методів обробітку ґрунту в умовах Обухівського району Київської області.

2.2. Методи порівняльного аналізу технологій

Для проведення порівняльного аналізу технології точного землеробства та традиційних методів обробітку ґрунту було обрано кілька основних методичних підходів. Головна мета полягала у зборі об'єктивних даних, які надалі дозволять оцінити ефективність кожної з технологій за економічними, агрономічними та екологічними критеріями.

Одним із основних був метод зіставлення технологічних процесів, який дозволяє безпосередньо порівнювати ключові етапи традиційного обробітку ґрунту та технологій точного землеробства за визначеними параметрами, такими як кількість проходів техніки, витрати ресурсів, використання сучасного обладнання [34]. За допомогою цього методу буде здійснене порівняння ефективності технологій на прикладі реальних польових даних.

Економічний аналіз витрат став ще одним важливим методом. Він полягав у зборі інформації про вартість застосування обох технологій, включаючи витрати на обладнання (зокрема, дрони, системи точного позиціонування RTK), насіння, добрива, паливно-мастильні матеріали, амортизацію техніки тощо [50]. Результати

цього аналізу дозволять встановити, яка система є більш економічно обґрунтованою в умовах конкретного господарства.

Практичний компонент дослідження було забезпечено методом польового експерименту. Зокрема, на полі в Обухівському районі Київської області був проведений пробний виїзд із використанням агродрона XAG P100pro. Під час експерименту здійснювалося внесення сухих добрив (селітра) на окрему ділянку ріллі, при цьому кількість добрив регулювалася дистанційно до значення 100 кг/га. Для підвищення точності роботи була встановлена RTK-антена, що дозволяло забезпечити сантиметрову точність польоту і внесення [57]. Зібрані результати будуть враховані у практичній частині порівняльного аналізу.

Крім того, для оцінки загального впливу обох підходів на стан ґрунтів та навколишнє середовище застосовувався метод екологічного аналізу на основі аналізу літературних джерел і даних офіційної статистики [45]. Відповідні висновки будуть деталізовані, де розглядатимуться екологічні аспекти зменшення антропогенного навантаження.

Метод аналізу тенденцій та прогнозування був використаний для оцінки потенційних перспектив розвитку точного землеробства, з урахуванням впровадження інноваційних технологій, таких як дрони, роботизовані системи, та аналізу впливу на територіальне планування [36].

Таким чином, застосування комплексу методів забезпечило ґрунтовну теоретичну та практичну базу для подальшого всебічного аналізу технологій.

РОЗДІЛ 3. ТЕРИТОРІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Опис території, де розташований об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є частина поля у Обухівському районі Київської області. На рисунку 3.1 показана межа Обухівського району на карті Київської області [10].



Рис. 3.1 Межа Обухівського району на карті Київської області [10]

Київська область є адміністративно-територіальною одиницею України, утвореною 27 лютого 1932 року. Вона розташована на півночі держави, у середній частині басейну річки Дніпро. Територія області (без м. Києва) становить 28,1 тис. км², що відповідає 4,7 % від загальної площі України; разом із Києвом площа сягає 28,9 тис. км². Адміністративним центром регіону виступає місто Київ – столиця України [30].

Унаслідок реалізації адміністративно-територіальної реформи, область наразі поділяється на 7 районів, у складі яких функціонує 69 територіальних громад. Загальна кількість населених пунктів складає 1182, серед яких: 26 міст

(включно з Прип'яттю та Чорнобилем), 30 селищ міського типу та 1126 сільських населених пунктів. За даними на 1 січня 2022 року, чисельність населення Київської області становила 1 795,079 тис. осіб [30].

На рисунку 3.2 показана карта фізико-географічного районування України, де жовтими позначеннями виділені фізико-географічні райони, в яких розташований Обухівський район [24].

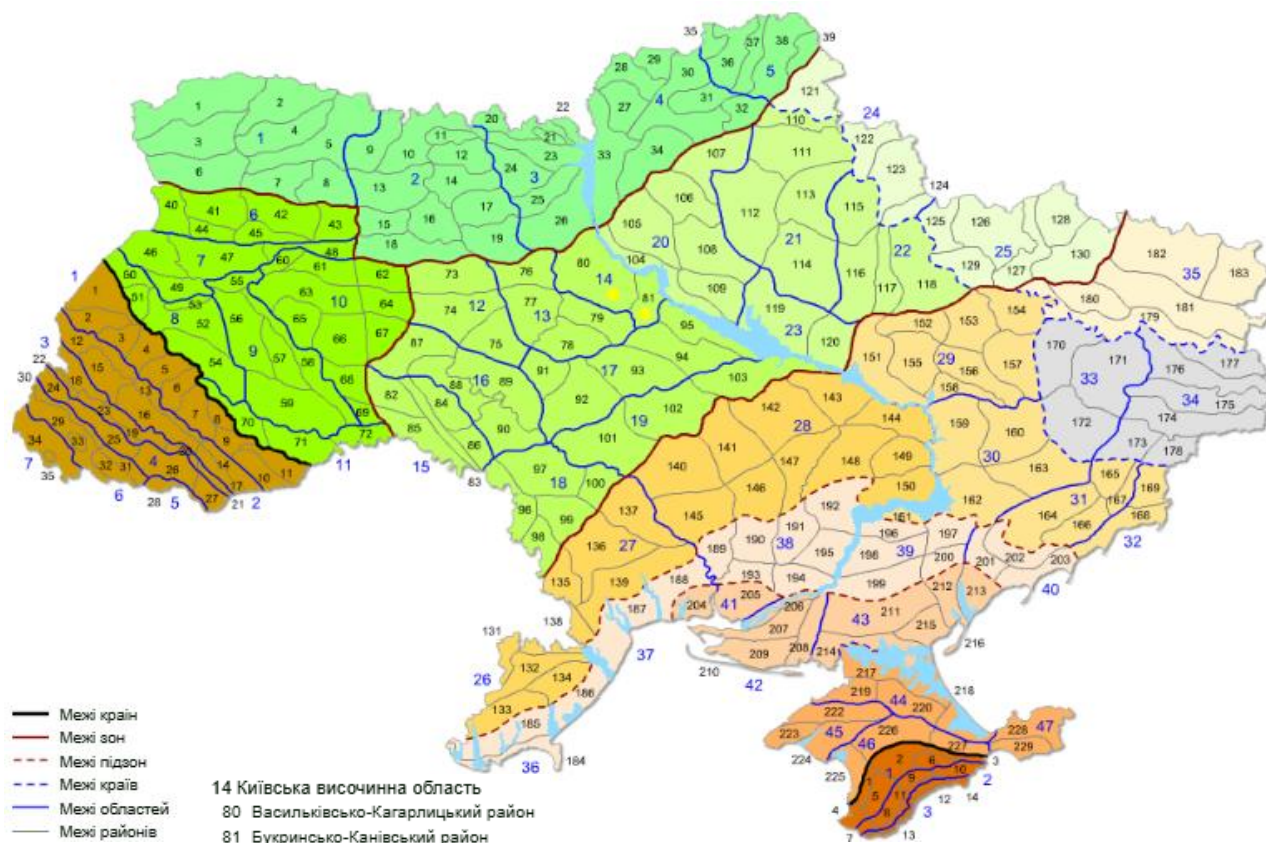


Рис. 3.2 Карта фізико-географічного районування України, де жовтими позначеннями виділені фізико-географічні райони, в яких розташований Обухівський район [24]

З рисунку 3.2 встановлено, що Обухівський район Київської області розташований в межах Київської височинної області, а саме в межах Васильківсько-Кагарлицького та Букринського-Канівського районів [24].

Рельєф регіону переважно рівнинний із поступовим зниженням у напрямку долини Дніпра. Північна частина області знаходиться в межах Поліської низовини, східна – у межах Придніпровської низовини. Найбільш підвищені ділянки

розташовані на півдні та південному заході, де проходить Придніпровська височина (максимальна висота - близько 273 м над рівнем моря) [30].

На рисунку 3.3 показаний фрагмент орографічної карти України, де виділена Київська область, а білим позначенням вказане розташування Обухівського району [25]. Встановлено, що межі Обухівського району знаходяться на території, е висот над рівнем моря коливається від 172 до 229 м.



Рис. 3.3 Фрагмент орографічної карти України, де показана Київська область, а білим позначенням виділено розташування Обухівського району [25]

Ґрунти Київщини характеризуються значною різноманітністю, домінують чорноземні типи, які займають приблизно 50 % площі орних земель. Ступінь розораності території перевищує 60 %. Лісовий фонд області становить близько 649 тис. га. У північній частині переважають хвойні та мішані ліси, тоді як на півдні, де антропогенне навантаження нижче, збереглися ділянки широколистяних лісів [30].

Фауна регіону є різноманітною, що пояснюється географічним розташуванням на межі природних зон Полісся та лісостепу. Протягом історичного періоду природні умови регіону були загалом сприятливими для розвитку господарства [30].

У межах області здійснюється видобуток переважно будівельних корисних копалин: гранітів, гнейсів, каолінів, глин і кварцового піску. Також є невеликі поклади торфу. На території Київщини знаходяться джерела мінеральних вод, зокрема в м. Миронівка та м. Біла Церква, а також Броварське родовище підземних рідкісних мінеральних вод [30].

Водна мережа регіону належить до басейну Дніпра. Протяжність Дніпра в межах області складає 246 км. До його основних приток належать: Прип'ять, Тетерів, Ірпінь, Рось, Десна та Трубіж. Гідрологічний режим водойм суттєво змінений через зарегульованість русел та наявність численних ставків і водосховищ. Усього в області нараховується 58 водосховищ (без урахування дніпровських), а також 2389 ставків. Загальний об'єм водосховищ становить 185,7 млн м³, а ставків - 259,1 млн м³. Довжина берегової лінії водойм сягає 17,8 тис. км [30].

3.2. Кліматична характеристика об'єкта дослідження

Клімат Київської області є помірно континентальним і характеризується чіткою зміною пір року. Він формується під впливом атлантичних повітряних мас, що сприяють м'якій зимі та помірно теплим літнім температурам [52].

Середньорічна температура повітря становить близько +7,5 °С. Найхолоднішим місяцем є січень із середньою температурою -5,5 °С, а найтеплішим - липень, середня температура якого сягає +19,0...+20,5 °С [33].

Річна кількість опадів коливається в межах 500–650 мм, із переважанням літніх дощів, особливо в червні та липні. Найменша кількість опадів випадає взимку [27]. Значний вплив на клімат області має рельєф: на півночі, в зоні

Поліської низовини, переважає більш вологий та прохолодний клімат, а на півдні, ближче до Придніпровської височини, клімат є теплішим і дещо посушливішим.

Кількість сонячних днів на рік становить близько 200–220. Зима зазвичай тривала, зі сніговим покривом висотою 10–20 см, який утримується в середньому протягом 80–90 днів [52].

Кліматичні особливості Київської області створюють сприятливі умови для ведення сільського господарства, але при цьому існують певні ризики, пов'язані із заморозками навесні та восени, а також періодичними літніми посухами [33].

На рисунку 3.4 показана карта агрокліматичного районування України [26]. Встановлено, що Обухівський район Київської області розташований у зоні недостатнього зволоження.



Рис. 3.4 Карта агрокліматичного районування України [26]

Область відіграє важливу роль у господарському житті країни. Тут зосереджено багато промислових підприємств, об'єктів комунальної інфраструктури, а також транспортних артерій загальнодержавного та міжнародного значення. Проте інтенсивне господарювання спричиняє значний тиск на довкілля. Додатковим чинником екологічного навантаження стало радіоактивне забруднення, спричинене Чорнобильською катастрофою. Серед основних екологічних проблем - забруднення вод, повітря, ґрунтів, накопичення відходів, у тому числі токсичних. Природоохоронні заходи в регіоні спрямовані на збереження водних ресурсів, повітряного простору, ґрунтів і лісів [30].

РОЗДІЛ 4. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ

4.1. Порівняння ефективності точного землеробства та традиційних методів.

Раціональне використання ресурсів

Раціональне використання природних, енергетичних та матеріальних ресурсів є одним із головних завдань сучасного сільського господарства, особливо в умовах зростаючого попиту на продовольство та зменшення доступності високоякісних земель. У цьому контексті точне землеробство (ТЗ) постає як ефективна альтернатива традиційним методам господарювання, які часто не враховують просторову неоднорідність полів та призводять до перевитрати ресурсів. Порівняння ефективності цих двох підходів дозволяє оцінити їхній вплив на продуктивність, економіку та навколишнє середовище.

Одним із ключових ресурсів у рослинництві є вода. У традиційних аграрних системах зрошення здійснюється рівномірно по всьому полю незалежно від фактичних потреб рослин, що часто призводить до перевитрати водних ресурсів, водної ерозії та зниження ефективності зрошення. Натомість ТЗ дозволяє точно вимірювати вологість ґрунту за допомогою сенсорів, дронів та супутникового моніторингу. Це дає змогу здійснювати зрошення лише у тих зонах, де воно дійсно необхідне. За результатами досліджень, впровадження технологій точного зрошення дозволяє зменшити витрати води до 20% без втрати врожайності, а в деяких випадках - навіть із її підвищенням [15].

Не менш важливою є ефективність використання мінеральних добрив та засобів захисту рослин. Традиційні підходи базуються на середніх нормах внесення, не враховуючи змін у родючості ґрунту, складі мікроелементів чи рівні зараження шкідниками на різних ділянках поля. Це призводить як до недобору врожаю на бідніших ділянках, так і до перевнесення ресурсів на тих, де їх не потрібно, що спричиняє екологічне навантаження. ТЗ, у свою чергу, застосовує технології змінної норми внесення (VRT), які дозволяють адаптувати кількість добрив і хімікатів під умови кожної окремої зони поля. Згідно з даними Асоціації

виробників техніки (АЕМ), застосування ТЗ дає змогу зменшити використання добрив на 7%, а пестицидів і гербіцидів - до 9% [21].

У Обухівському районі Київської області було проведено експеримент з використанням дрона ХАG Р100 Pro для внесення сухих добрив (селітри) на окрему ділянку ріллі. Дрон оснащено системою RevoCast 3, яка забезпечує максимальну швидкість розкидання до 150 кг/хв та ефективність внесення добрив до 1300 кг/год. Для підвищення точності роботи дрона було встановлено RTK-антену, що дозволяє досягти точності позиціонування до кількох сантиметрів .

Під час експерименту було встановлено максимальну норму внесення добрив - 100 кг/га. Завдяки можливості змінювати норму внесення за допомогою пульта керування, оператор міг адаптувати кількість добрив відповідно до потреб конкретних ділянок поля, що сприяє раціональному використанню ресурсів.

У традиційному землеробстві внесення добрив зазвичай здійснюється механічними розкидачами, які мають обмежену точність та не дозволяють варіювати норму внесення в реальному часі. Це може призводити до перевитрати добрив на одних ділянках та недостатнього внесення на інших, що негативно впливає на врожайність та екологічний стан ґрунтів.

На основі експериментальних даних встановлено, що застосування дрона ХАG Р100 Pro дозволяє:

- підвищити точність внесення добрив: завдяки RTK-навігації та можливості змінювати норму внесення в реальному часі, добрива вносяться саме там, де це необхідно, що зменшує їх перевитрату та покращує ефективність використання;

- зменшити витрати на добрива: точне внесення дозволяє знизити загальну кількість використаних добрив без шкоди для врожайності, що веде до економії коштів;

- підвищити продуктивність праці: дрон може обробляти до 13 га за годину при нормі внесення 100 кг/га, що значно перевищує продуктивність традиційних методів;

- зменшити негативний вплив на навколишнє середовище: точне внесення добрив знижує ризик їх потрапляння у водні об'єкти та зменшує викиди парникових газів, пов'язані з їх виробництвом та транспортуванням.

Розрахунок ефективності використання дрона XAG P100 Pro наступний:

1) При нормі внесення 100 кг/га та максимальній швидкості розкидання 150 кг/хв, дрон може обробити:

- за 1 хвилину: $150 \text{ кг/хв.} : 100 \text{ кг/га} = 1,5 \text{ га/хв.};$

- за 1 годину (60 хвилин): $1,5 \text{ га/хв.} \times 60 \text{ хв.} = 90 \text{ га.}$

Однак, враховуючи час на заправку, зарядку батарей та інші операційні затримки, реальна продуктивність може становити близько 13 га/год .

У порівнянні з традиційними методами, які вимагають більше часу та ресурсів для обробки аналогічної площі, використання дрона XAG P100 Pro демонструє значну перевагу в ефективності та раціональному використанні ресурсів.

2) При нормі внесення 100 кг/га та середній продуктивності розкидання 800 кг/год традиційною технікою (трактор з розкидачем типу РМГ-4):

- за 1 хвилину: $800 \text{ кг/год} : 60 = 13,3 \text{ кг/хв.}$

$13,3 \text{ кг/хв.} : 100 \text{ кг/га} = 0,133 \text{ га/хв.};$

- за 1 годину (60 хвилин):

$0,133 \text{ га/хв.} \times 60 \text{ хв.} = 8 \text{ га.}$

Цей результат свідчить, що традиційний метод суттєво поступається за продуктивністю сучасним безпілотним системам на зразок XAG P100 Pro, який здатен обробити до 90 га/год (рисунок 4.1) теоретично (в ідеальних умовах) або близько 13 га/год реально.

Також на основі літературних даних визначено норми внесення добрив для різних видів культур [21]:

- під зернові 60-150 кг/га;

- під технічні культури 60-170 кг/га;

- під овочі 50-70 кг/га;

- рід цукровий буряк 120-200 кг/га на фоні фосфорно-калійних добрив.

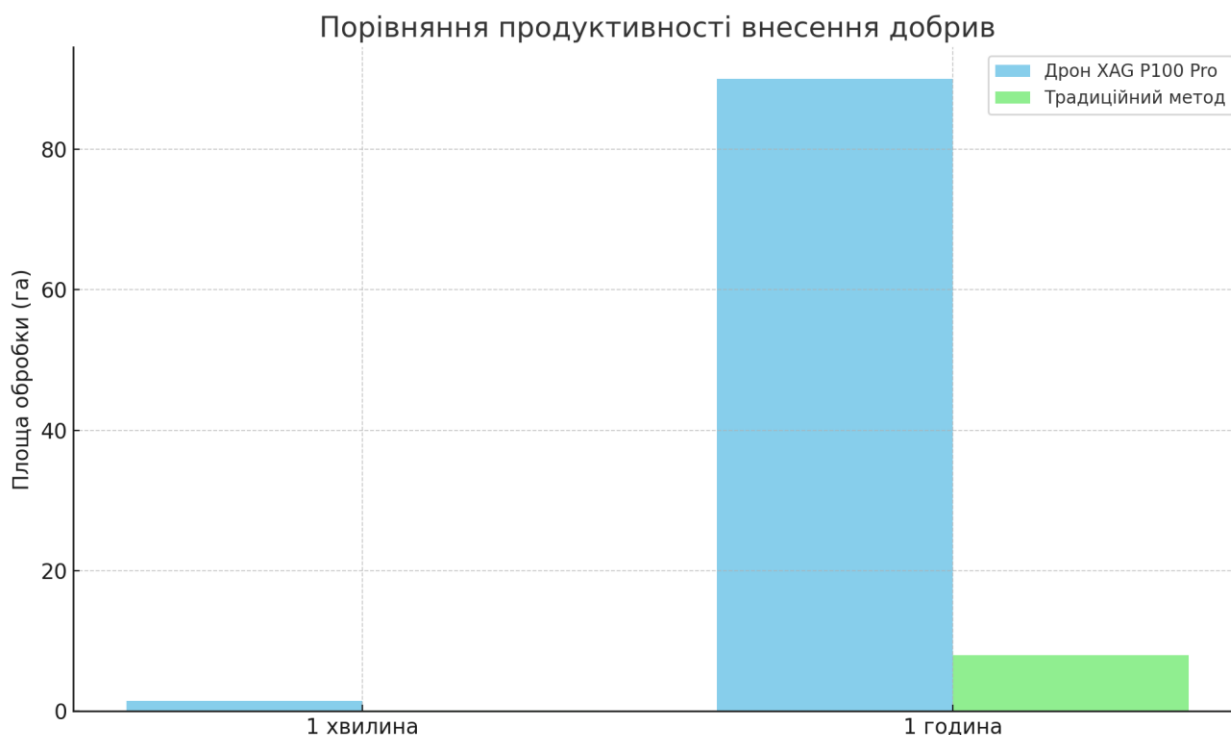


Рис. 4.1 Результати порівняння ефективності точного землеробства та традиційних методів при внесенні добрив

Використовуючи ці норми було розраховано час внесення аміачної селітри з використанням дрону XAG P100 Pro (13 га/год) та традиційних методів обробки ґрунту (8 га/год):

Умови:

- XAG P100 Pro: макс. швидкість розкидання — 150 кг/хв. Реальна продуктивність при 100 кг/га — 13 га/год → при інших нормах масштабуємо:

$$\text{Продуктивність} = \frac{150}{\text{Норма}} \times 60 \times \frac{13}{1,5} = \frac{78000}{\text{Норма}} (\text{га} / \text{год}) \quad (4.1)$$

Традиційна техніка: 800 кг/год →

$$\text{Продуктивність} = \frac{800}{\text{Норма}} (\text{га} / \text{год}) \quad (4.2)$$

$$\text{Час} = 100 \text{ га} \div \text{продуктивність}. \quad (4.3)$$

1) Зернові культури:

При мінімальній нормі внесення: 60 кг/га.

- Дрон XAG P100 Pro:
 - Теоретична продуктивність = $150 \text{ кг/хв.} \div 60 \text{ кг/га} = 2,5 \text{ га/хв.}$
 - У реальних умовах = $2,5 \text{ га/хв.} \times 60 \text{ хв.} = 150 \text{ га/год}$, але беремо знижений коефіцієнт = 40 га/год.
 - Час = $100 \text{ га} \div 40 \text{ га/год} = 2,5 \text{ год.}$
- Традиційна техніка:
 - $800 \text{ кг/год} \div 60 \text{ хв.} = 13,33 \text{ кг/хв.}$
 - $13,33 \text{ кг/хв.} \div 60 \text{ кг/га} = 0,222 \text{ га/хв.}$
 - $0,222 \text{ га/хв.} \times 60 = 13,33 \text{ га/год.}$
 - Час = $100 \text{ га} \div 13,33 \text{ га/год} = 7,5 \text{ год.}$

Максимальна норма внесення: 150 кг/га.

- Дрон XAG P100 Pro:
 - $150 \text{ кг/хв.} \div 150 \text{ кг/га} = 1 \text{ га/хв.} \rightarrow 1 \times 60 = 60 \text{ га/год}$, реально $\approx 13 \text{ га/год}$
 - Час = $100 \text{ га} \div 13 \text{ га/год} \approx 7,7 \text{ год}$
- Традиційна техніка:
 - $800 \div 60 = 13,33 \text{ кг/хв.}$
 - $13,33 \div 150 = 0,089 \text{ га/хв.} \rightarrow 0,089 \times 60 = 5,33 \text{ га/год.}$
 - Час = $100 \div 5,33 \approx 18,8 \text{ год.}$

2) Технічні культури

Мінімальна норма: 60 кг/га.

- Результати ідентичні зерновим при 60 кг/га:
 - Дрон: 2,5 год.
 - Техніка: 7,5 год.

Максимальна норма: 170 кг/га.

- Дрон:
 - $150 \div 170 = 0,882 \text{ га/хв.} \rightarrow \times 60 = 52,94 \text{ га/год}$, реально $\approx 11,5 \text{ га/год.}$
 - Час = $100 \div 11,5 \approx 8,7 \text{ год.}$
- Традиційна техніка:
 - $800 \div 60 = 13,33 \text{ кг/хв.}$

- $13,33 \div 170 = 0,078$ га/хв. $\times 60 = 4,7$ га/год.
- Час = $100 \div 4,7 \approx 21,3$ год.

3. Овочі

Мінімальна норма: 50 кг/га.

- Дрон:
 - $150 \div 50 = 3$ га/хв. $\rightarrow \times 60 = 180$ га/год, реально ≈ 75 га/год.
 - Час = $100 \div 75 \approx 1,3$ год.
- Традиційна техніка:
 - $800 \div 60 = 13,33$ кг/хв.
 - $13,33 \div 50 = 0,267$ га/хв. $\rightarrow \times 60 = 16$ га/год.
 - Час = $100 \div 2,5 \approx 40$ год.

Максимальна норма: 70 кг/га.

- Дрон:
 - $150 \div 70 = 2,14$ га/хв. $\rightarrow \times 60 = 128,57$ га/год, реально $\approx 46,7$ га/год.
 - Час = $100 \div 46,7 \approx 2,1$ год.
- Традиційна техніка:
 - $13,33 \div 70 = 0,190$ га/хв. $\rightarrow \times 60 = 11,4$ га/год.
 - Час = $100 \div 3,5 \approx 28,6$ год.

4) Цукровий буряк

Мінімальна норма: 120 кг/га

- Дрон:
 - $150 \div 120 = 1,25$ га/хв. $\rightarrow \times 60 = 75$ га/год, реально ≈ 20 га/год.
 - Час = $100 \div 20 = 5$ год.
- Традиційна техніка:
 - $13,33 \div 120 = 0,111$ га/хв. $\rightarrow \times 60 = 6,67$ га/год.
 - Час = $100 \div 6 \approx 16,7$ год.

Максимальна норма: 200 кг/га.

- Дрон:
 - $150 \div 200 = 0,75$ га/хв. $\rightarrow \times 60 = 45$ га/год, реально $\approx 13,3$ га/год.
 - Час = $100 \div 13,3 \approx 7,5$ год.

- Традиційна техніка:
 - $13,33 \div 200 = 0,066$ га/хв. $\rightarrow \times 60 = 4$ га/год.
 - Час = $100 \div 4 = 25$ год.

Результати розрахунку внесені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Результати розрахунків щодо внесення селітри під різні типи культур при використанні точного землеробства та традиційних методів

Культура	Норма внесення (кг/га)	XAG P100 Pro (га/год)	Час дрона (год)	Традиц. техніка (га/год)	Час техніки (год)
Зернові (мін)	60	130,0	0,77	13,33	7,50
Зернові (макс)	150	52,0	1,92	5,33	18,75
Тех. культури (мін)	60	130,0	0,77	13,33	7,50
Тех. культури (макс)	170	45,9	2,18	4,71	21,23
Овочі (мін)	50	156,0	0,64	16,00	6,25
Овочі (макс)	70	111,4	0,90	11,43	8,75
Цукровий буряк (мін)	120	65,0	1,54	6,67	15,00
Цукровий буряк (макс)	200	39,0	2,56	4,00	25,00

На рисунку 4.2 показане порівняння часу виконання робіт по внесенню селітри під різні типи культур при використанні точного землеробства та традиційних методів.

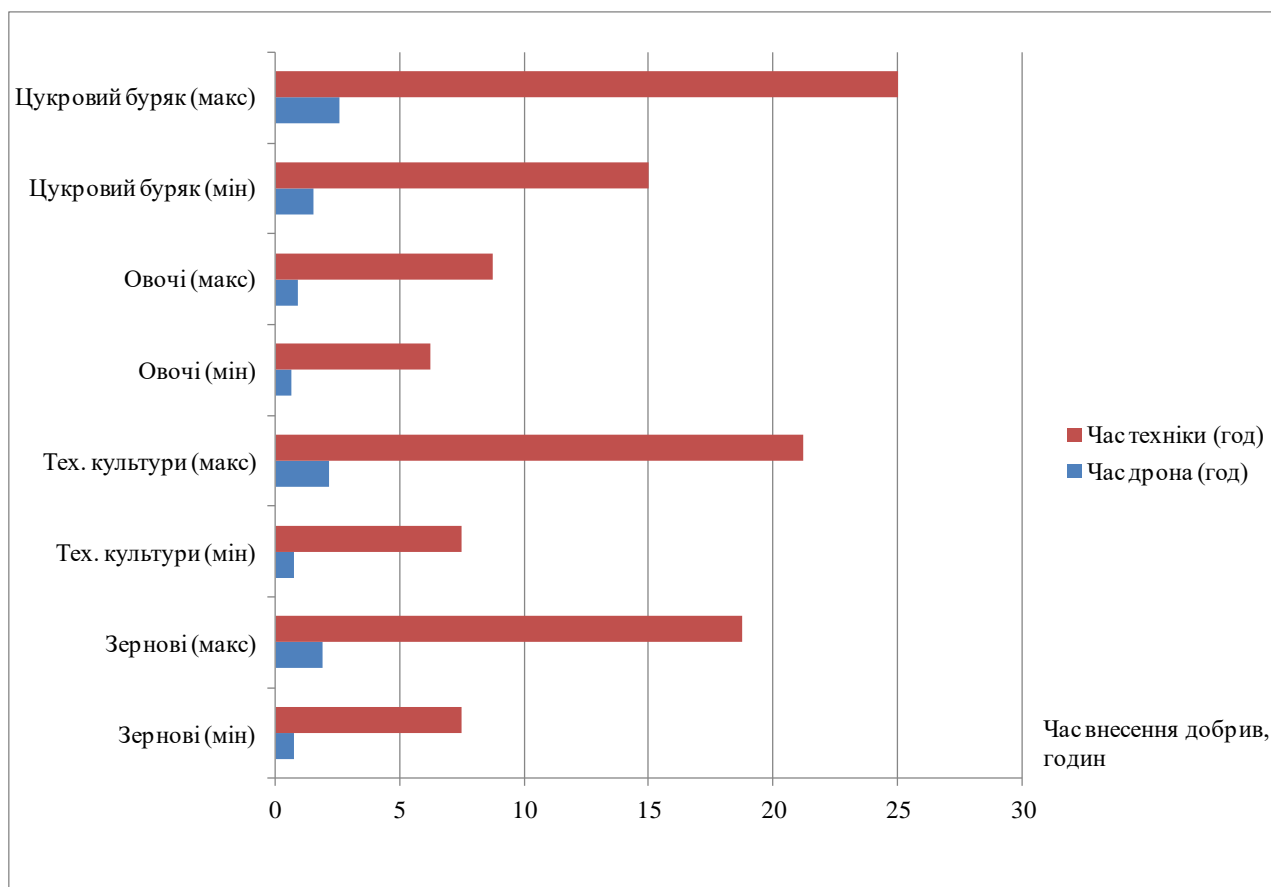


Рис. 4.2 порівняння часу виконання робіт по внесенню селітри під різні типи культур при використанні точного землеробства та традиційних методів

Аналіз даних таблиці 4.1 засвідчує суттєву перевагу у швидкості виконання робіт при використанні дрона XAG P100 Pro у порівнянні з традиційною технікою. Зокрема, для всіх типів культур, незалежно від норми внесення добрив, час, необхідний для обробки 100 га, у дрона в кілька разів менший. Це особливо помітно при внесенні мінімальних норм: наприклад, для зернових культур при нормі 60 кг/га дрону потрібно лише 0,77 год, тоді як традиційній техніці – 7,5 год.

Чим більша норма внесення, тим більше знижується продуктивність в обох систем, проте дрон залишається значно ефективнішим. При внесенні 200 кг/га (максимальна норма для цукрового буряка) XAG P100 Pro виконує завдання за 2,56 год, тоді як традиційна техніка потребує 25 год – удесятеро більше.

Особливо ефективно застосування дронів при роботі з овочевими культурами та культурами з низькими нормами внесення. Тут дрон демонструє надзвичайно високу продуктивність (до 156 га/год) і здатен обробити 100 га менш ніж за годину.

Водночас традиційні засоби навіть при найкращих умовах витрачають понад 6 годин.

Загалом, застосування безпілотних технологій, зокрема дрона XAG P100 Pro, значно підвищує ефективність внесення добрив завдяки високій швидкості, точності та гнучкості в роботі з різними культурами. Це відкриває перспективи для оптимізації аграрних процесів та підвищення продуктивності господарств при зниженні витрат часу та ресурсів.

Також варто звернути увагу на споживання паливно-енергетичних ресурсів, які становлять значну частку операційних витрат у сільському господарстві. У традиційному підході часто спостерігається надмірне дублювання операцій, нерациональне планування маршрутів техніки та втрати пального через людський фактор. ТЗ усуває ці недоліки завдяки використанню GPS-навігації, автопілотування, автоматичного контролю обробітку ґрунту та дистанційного керування машинами. Це дозволяє зменшити витрати пального на 6–10%, що позитивно впливає як на економіку господарства, так і на викиди CO₂ [12].

Важливим індикатором ефективності є врожайність сільськогосподарських культур. У результаті впровадження ТЗ спостерігається стабільне підвищення врожайності на 4–8% порівняно з традиційними технологіями. Це пояснюється можливістю точного контролю стану посівів, швидкого реагування на стресові чинники (нестача вологи, шкідники, дефіцит мікроелементів) та застосування диференційованих агротехнічних заходів. Прикладом є застосування NDVI-індексу (нормалізованого відносного вегетаційного індексу), який дозволяє оперативно виявляти зони з поганим розвитком рослин і приймати рішення щодо додаткового підживлення або обробки [13].

Раціональне використання ресурсів у точному землеробстві також проявляється у зменшенні негативного впливу на довкілля. Мінімізація використання хімічних речовин та оптимізація обробітку ґрунту сприяють зниженню забруднення поверхневих і підземних вод, запобіганню ерозії та збереженню біорізноманіття. Це особливо важливо в умовах зміни клімату, коли сільське господарство стає як жертвою, так і джерелом викидів парникових газів.

Використання ТЗ допомагає знизити антропогенне навантаження та сприяє формуванню більш екологічно стійких агросистем [16].

З економічної точки зору, хоча впровадження ТЗ вимагає значних початкових інвестицій у технічне забезпечення, програмне забезпечення, навчання персоналу та адаптацію існуючих технологій, окупність цих витрат зазвичай настає протягом 2–4 років. За даними досліджень, у господарствах, що застосовують ТЗ, прибутковість на гектар підвищується в середньому на 15–20% завдяки скороченню витрат і зростанню врожайності [8]. Крім того, можливість оперативного аналізу даних та їх збереження сприяє довгостроковому плануванню, прогнозуванню ризиків та підвищенню загальної керованості агропідприємством.

Отже, порівняння точного землеробства з традиційними методами однозначно свідчить про вищу ефективність першого як з точки зору ресурсозбереження, так і продуктивності. Системний підхід до управління полем, оснований на даних, дозволяє досягти кращих результатів із меншими витратами. У перспективі широке впровадження ТЗ в Україні може стати запорукою не лише продовольчої безпеки, а й екологічної стабільності аграрного сектору.

4.2. Екологічні аспекти: зменшення антропогенного навантаження на ґрунт і навколишнє середовище

У ХХІ столітті питання екологічної безпеки та збереження природних ресурсів стало ключовим пріоритетом для багатьох секторів економіки, і сільське господарство - не виняток. Через глобальні кліматичні зміни, виснаження ґрунтів, забруднення водойм та зниження біорізноманіття, традиційні методи ведення сільського господарства дедалі частіше піддаються критиці з боку екологів, науковців і суспільства загалом. У цьому контексті технології ТЗ відіграють провідну роль у зменшенні антропогенного навантаження на довкілля та формуванні стійких агроєкосистем.

Однією з найбільших екологічних проблем, пов'язаних із традиційним землеробством, є деградація ґрунтів. Це явище охоплює ерозію, зниження рівня

гумусу, ущільнення ґрунту та погіршення його водно-повітряного режиму. Причиною цього найчастіше є інтенсивна механічна обробка, надмірне внесення добрив і засобів захисту рослин без урахування фактичного стану ґрунту. У свою чергу, ТЗ дозволяє здійснювати просторово-диференційований підхід до обробітку, тобто враховувати властивості ґрунту на кожній ділянці поля завдяки GPS-навігації, супутниковому моніторингу та сенсорам у ґрунті. Такий підхід дозволяє зменшити кількість обробок, уникнути надмірного ущільнення ґрунту та сприяє відновленню його природної структури [14].

Крім того, точне землеробство ефективно знижує ризик ерозії ґрунтів - як водної, так і вітрової. Наприклад, використання безплужного обробітку (no-till) в поєднанні з аналізом рельєфу поля дозволяє залишати на поверхні рослинні рештки, які захищають ґрунт від розмивання дощовими потоками або видування. Також активно впроваджуються покривні культури, які не лише утримують верхній шар ґрунту, але й покращують його структуру, сприяючи біологічному збагаченню [9].

Важливим екологічним фактором є скорочення забруднення підземних і поверхневих вод. У традиційному господарюванні значна частка мінеральних добрив та хімікатів змивається до водних об'єктів, спричиняючи евтрофікацію водойм, тобто надмірне збагачення вод фосфором і нітратами. Це призводить до цвітіння води, зменшення вмісту кисню та загибелі водних організмів. У точному землеробстві завдяки змінній нормі внесення добрив (VRT) добрива вносяться лише у ті частини поля, де вони дійсно необхідні. Таким чином, зменшується загальний обсяг використаних хімікатів, а також запобігається їх потрапляння в гідросферу [11].

Ще одним вагомим екологічним аспектом є зменшення викидів парникових газів. Традиційні технології обробітку ґрунту, особливо з частим механічним втручанням, сприяють швидкій мінералізації органічної речовини та викиду CO₂ в атмосферу. У свою чергу, використання no-till технологій, які є складовою ТЗ, сприяє накопиченню вуглецю в ґрунті. За оцінками дослідників, використання ТЗ

дозволяє скоротити викиди CO₂ на 15–25% у порівнянні з традиційним землеробством [54].

Також варто відзначити вплив точного землеробства на збереження біорізноманіття. Зменшення обсягів пестицидів та гербіцидів, цілеспрямоване їх застосування лише на проблемних ділянках поля дозволяє зберегти корисних комах, таких як бджоли, джмелі та інші запилювачі. Аграрії все частіше відмовляються від суцільного обприскування, натомість використовують карти зараження шкідниками, що формуються на основі даних з дронів або супутників. Це дозволяє діяти точково, не завдаючи шкоди всій екосистемі [6].

У довгостроковій перспективі впровадження ТЗ сприяє формуванню більш сталих агросистем, які здатні функціонувати без виснаження природних ресурсів. Завдяки можливості постійного моніторингу екологічних параметрів (вмісту вологи, щільності ґрунту, рівня органічної речовини), фермери отримують повну картину стану полів і можуть ухвалювати обґрунтовані агротехнологічні рішення. Це не лише підвищує екологічну ефективність, а й забезпечує стабільність виробництва в умовах кліматичної нестабільності.

Отже, екологічні аспекти точного землеробства мають багатовимірний характер: від зменшення ерозійних процесів до скорочення викидів парникових газів та збереження біорізноманіття. На відміну від традиційних підходів, ТЗ передбачає ошадливе ставлення до природи як системи, що потребує балансу між виробництвом і відновленням. Саме тому його подальше впровадження в Україні має не лише економічне, а й стратегічне екологічне значення.

4.3. Практичні переваги і недоліки впровадження точного землеробства на досліджуваній території

Впровадження технологій точного землеробства в аграрному секторі України, зокрема в Київській області, відкриває нові можливості для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. Ці технології дозволяють оптимізувати використання ресурсів, зменшити витрати та підвищити врожайність.

Однією з основних переваг ТЗ є можливість точного внесення добрив та засобів захисту рослин, що дозволяє зменшити їх витрати на 15–30% порівняно з традиційними методами [49]. Це досягається завдяки використанню GPS-навігації, супутникового моніторингу та систем змінної норми внесення добрив (VRA), які забезпечують диференційований підхід до обробки полів залежно від їхніх характеристик [51].

Крім того, ТЗ сприяє підвищенню врожайності. Завдяки точному управлінню агротехнічними заходами та оптимізації використання ресурсів, фермери можуть досягати збільшення врожайності на 10–15% [46]. Наприклад, досвід агрохолдингу "Контінентал Фармерз Груп" показав, що впровадження ТЗ на 30% угідь дозволило знизити витрати на 15% без зменшення врожайності [22].

ТЗ також має позитивний вплив на довкілля. Зменшення надлишкового внесення добрив та хімікатів сприяє зниженню забруднення ґрунтів і водних ресурсів, а також зменшенню викидів парникових газів [48]. Це особливо важливо в умовах глобальних змін клімату та необхідності забезпечення сталого розвитку аграрного сектору.

Однак впровадження ТЗ має і певні недоліки. По-перше, це значні фінансові вкладення, необхідні для придбання сучасного обладнання та програмного забезпечення. По-друге, складність в освоєнні нових технологій вимагає навчання персоналу та адаптації до нових умов роботи [35]. Також можливі проблеми в обладнанні або програмному забезпеченні, що можуть призвести до простоїв і зниження продуктивності.

Незважаючи на ці виклики, багато українських агропідприємств успішно впроваджують ТЗ. Наприклад, компанія «Миронівський хлібопродукт» щорічно інвестує близько \$2 млн у агроперетворення, впроваджуючи системи паралельного та автоматичного водіння, управління висівом та внесенням добрив. Економія ресурсів може становити від 5 до 20% [53].

Таким чином, впровадження ТЗ на досліджуваній території має значний потенціал для підвищення ефективності аграрного виробництва. Незважаючи на початкові інвестиції та необхідність адаптації, довгострокові переваги у вигляді

економії ресурсів, підвищення врожайності та зменшення негативного впливу на довкілля роблять ці технології перспективними для українського сільського господарства.

РОЗДІЛ 5. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

5.1. Інноваційні технології в точному землеробстві: дрони, роботизовані системи

Сучасне сільське господарство зазнає стрімких змін під впливом інноваційних технологій. Точне землеробство - це не лише підхід до обробки землі з використанням супутникової навігації чи карт урожайності, але і платформа для впровадження найновіших цифрових рішень: дронів, роботів, сенсорів, систем штучного інтелекту. Ці технології стають основою сталого, економічно вигідного та екологічно безпечного агровиробництва.

Одним із найпомітніших досягнень останніх років є активне впровадження дронів у процесі точного землеробства.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) використовуються як для моніторингу полів, так і для внесення засобів захисту рослин чи мінеральних добрив. Наприклад, дрон XAG P100 Pro має здатність розкидання до 150 кг/хв. і здатен обробити теоретично до 90 га/год, а в реальних умовах - до 13 га/год [17]. У порівнянні з традиційною технікою, яка обробляє близько 8 га/год, це суттєво пришвидшує процес внесення добрив.

Крім того, дрони дозволяють здійснювати аерофотозйомку високої точності, що дає змогу створювати точні карти NDVI, виявляти ділянки з поганим розвитком рослин, проводити агрохімічний моніторинг. Це суттєво підвищує обґрунтованість прийняття аграрних рішень.

Ще одним напрямом інновацій є роботизовані системи, які використовуються для автоматизованого обробітку ґрунту, посіву, внесення добрив і збору врожаю. Наприклад, в США активно використовуються автономні трактори, які керуються штучним інтелектом і можуть працювати без участі оператора. В Україні наразі такі рішення тільки тестуються, але існує потенціал до їх впровадження на великих агропідприємствах [43].

Сучасні аграрні роботи, такі як робот-опилювачі, роботи для прополювання бур'янів або посадки культур, уже починають використовуватись у країнах Європи, Канаді та Японії. Наприклад, робот FarmBot дозволяє вирощувати культури в автоматичному режимі навіть у невеликих господарствах або на освітніх платформах [4].

Ще один важливий інструмент - це системи штучного інтелекту (AI) та машинного навчання. Вони здатні аналізувати великі обсяги даних про стан ґрунтів, погодні умови, розвиток культур, історію врожайності, що дозволяє аграріям приймати оптимальні рішення щодо строків посіву, норми висіву, режиму поливу тощо. AI також використовується для виявлення шкідників на ранніх стадіях через аналіз зображень, отриманих із дронів або камер на техніці [2].

Велику перспективу має й інтернет речей (IoT) - мережа сенсорів, встановлених безпосередньо в полі, які в реальному часі передають інформацію про температуру, вологість, рівень рН ґрунту, концентрацію поживних речовин. Завдяки цим даним система може автоматично запускати полив, коригувати графік внесення добрив або попереджати фермера про потенційні ризики [7].

Агрегування даних у хмарних платформах дає змогу фермерам керувати великими обсягами інформації, будувати моделі прогнозування та вчасно реагувати на зміни. Такі рішення, як Climate FieldView, OneSoil, Cropio вже мають успішні кейси застосування в Україні.

Таким чином, поєднання дронів, роботизованої техніки, AI, IoT та цифрових платформ у межах точного землеробства формує цілісну екосистему, що дозволяє досягати високих агровиробничих результатів з мінімальними втратами ресурсів.

Подальший розвиток цих технологій дозволить зменшити залежність від людського фактора, підвищити ефективність використання кожного гектара землі та забезпечити стабільність агровиробництва навіть в умовах кліматичних змін.

5.2. Вплив розвитку точного землеробства на територіальне планування

Розвиток точного землеробства вимагає нового підходу до організації агроландшафтів і змінює пріоритети у просторовому плануванні сільських територій. Інноваційні технології агровиробництва диктують нові умови щодо розміщення інфраструктури, зонування земель, доступу до цифрових мереж, енергетичних ресурсів та логістичних маршрутів. Це, у свою чергу, має істотний вплив на формування сучасної моделі сталого сільського розвитку.

По-перше, точне землеробство вимагає створення інфраструктури для збору, обробки та передачі даних. Сюди входять базові станції для GPS, датчики на полях, метеостанції, точки підключення до інтернету речей (IoT), що передбачає розширення мережі цифрового покриття у сільській місцевості. Територіальне планування має враховувати потребу в технічному зонуванні - створенні так званих “агродата-кластерів” або “розумних” ферм, де сконцентровано цифрову інфраструктуру [56].

По-друге, впровадження автономної техніки та дронів змінює вимоги до структури сільських доріг, під’їзних шляхів і точок обслуговування. Такі об’єкти, як зарядні станції для дронів, ремонтно-обслуговуючі пункти для роботизованої техніки, логістичні центри для зберігання добрив і засобів захисту рослин, мають розташовуватись з урахуванням оптимальної логістики та зональної агрокліматичної спеціалізації [20].

По-третє, ТЗ потребує деталізованого зонування земель за агрохімічними, агрофізичними і кліматичними показниками. Це означає, що територіальне планування повинно інтегрувати результати ґрунтового аналізу, супутникового моніторингу та кліматичних моделей у практику планування сільськогосподарського використання земель. Внаслідок цього можуть змінюватися межі земельних ділянок або формуватись нові мікрозони з диференційованим підходом до агротехнологій [42].

У зв'язку з цим, важливим аспектом є цифровізація кадастрових даних. Вона дозволяє не лише фіксувати реальний стан земель, а й здійснювати прогнозування

змін продуктивності, ерозійних процесів або необхідності меліорації. Сучасні платформи, такі як EOS Crop Monitoring, OneSoil або SpaceSense, уже зараз дають змогу відображати ці параметри на карті та синхронізувати з геоінформаційними системами (ГІС) територіального планування [44].

Вплив ТЗ простягається і на соціальні аспекти розвитку територій. По мірі автоматизації процесів зменшується потреба у великій кількості некваліфікованої робочої сили, натомість зростає попит на висококваліфікованих фахівців: агроаналітиків, GIS-спеціалістів, операторів дронів, програмістів. Це може змінити структуру зайнятості в сільській місцевості та викликати потребу в переоснащенні навчальних закладів і центрів професійної підготовки [38].

Також точне землеробство сприяє оптимізації використання природних ресурсів, що має пряме відображення на екологічне планування територій. Наприклад, можливість точного внесення добрив зменшує навантаження на водні ресурси та сприяє збереженню біорізноманіття. Це створює підстави для формування так званих “зелених зон” сільського розвитку - територій з мінімальним впливом агровиробництва на навколишнє середовище [31].

У довгостроковій перспективі точне землеробство стане основою розумного сільського планування (smart rural planning), яке враховує не лише економічну доцільність, а й цифрову, екологічну та соціальну сталість території. На рівні громад це потребує створення цифрових платформ для планування, відкритих баз даних та співпраці з аграрними підприємствами, освітніми установами й ІТ-компаніями.

Отже, впровадження точного землеробства змінює не тільки виробничі процеси, а й вимагає переосмислення просторового планування сільських територій. Для ефективної інтеграції цих технологій потрібно адаптувати підходи до територіального розвитку, інфраструктурної підтримки та формування нових функціональних зон у межах сільських громад.

5.3. Рекомендації щодо впровадження технологій в регіонах України

Впровадження технологій точного землеробства в Україні має значний потенціал для підвищення ефективності агровиробництва, збереження природних ресурсів та розвитку сільських територій. Проте реалізація цих технологій у різних регіонах країни повинна враховувати локальні кліматичні, економічні, соціальні та організаційні особливості. Нижче подано практичні рекомендації для впровадження точного землеробства, адаптовані до регіональної специфіки України.

1. Зональний підхід до впровадження технологій:

Україна характеризується агрокліматичним поділом на зони (Полісся, Лісостеп, Степ), кожна з яких має свої особливості у веденні сільського господарства. Наприклад:

- у Степовій зоні, з її посушливим кліматом, особливо актуальними є системи моніторингу вологості ґрунту, точне зрошення та метеостанції з AI-модулем для прогнозування посух;

- у Лісостепу, де поширене інтенсивне землеробство, рекомендовано впроваджувати системи змінного внесення добрив, роботизовані сівалки, агродрони для хімообробки;

- на Поліссі, з вищим рівнем кислотності ґрунтів і значною залісненістю, ефективними будуть системи аналізу складу ґрунтів та технології дренажного моніторингу [19].

2. Інфраструктурна підтримка та інвестиції:

Для широкомасштабного впровадження ТЗ в регіонах слід забезпечити:

- покриття сільських територій якісним інтернетом (особливо LTE/5G для передачі даних з IoT);

- стимулювання створення регіональних центрів точного землеробства на базі університетів, ДП «Дослідні станції», інноваційних хабів;

- розвиток логістичної інфраструктури для обслуговування агродронів, автономної техніки та мобільних лабораторій [55].

Державна та місцева підтримка у вигляді часткового фінансування обладнання, навчання кадрів, надання податкових пільг, може пришвидшити адаптацію технологій, особливо серед малих і середніх господарств.

3. Освіта та кадрове забезпечення:

Брак фахівців є однією з головних перешкод для впровадження ТЗ. Необхідно:

- включити в програми аграрних ВНЗ (НУБіП, Сумський НАУ, ЛНАУ тощо) спеціалізації з точного землеробства, агроінформатики, агро-GIS;

- організовувати курси підвищення кваліфікації для фермерів та агроспеціалістів на рівні громад;

- залучати агропідприємства до партнерств з освітніми установами [39].

У кожному регіоні доцільно створити освітньо-демонстраційні майданчики, які дозволяють практично випробовувати нові технології.

4. Інтеграція в роботу малих та середніх господарств:

Найменші господарства (до 100 га) часто не мають фінансових ресурсів для закупівлі дронів, сенсорів або підписки на цифрові платформи. Рекомендується:

- створювати фермерські кооперативи, які спільно інвестують у обладнання;

- надавати доступ до цифрових платформ за принципом “плати за результат”, а не за інфраструктуру (наприклад, діагностика посівів з оплатою за індикатор стану);

- підтримувати агросервісні компанії, які надають послуги з ТЗ “під ключ” [41].

Держава також може забезпечити часткове субсидування таких сервісів у малих громадах.

5. Моніторинг і аналітика результатів:

Для контролю ефективності впровадження ТЗ важливо:

- вести регіональну статистику впровадження: кількість дронів, площі з картуванням, використання змінного внесення;

- аналізувати економічні та агрономічні ефекти технологій: зростання врожайності, зниження витрат, покращення стану ґрунтів;

- створювати відкриті бази даних на рівні громад і ОДА [37].

Це дозволить не лише координувати впровадження, а й підтримувати аграріїв даними для прийняття управлінських рішень.

Таким чином, ефективне впровадження технологій точного землеробства в регіонах України можливе лише за умови комплексного підходу - з урахуванням природно-кліматичних умов, стану інфраструктури, кадрового потенціалу та рівня кооперації між господарствами. Системна підтримка на державному і місцевому рівні, разом із активним залученням бізнесу й науки, дозволить створити умови для сталого аграрного розвитку на основі інновацій.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що точне землеробство є інноваційною моделлю ведення сільського господарства, яка дозволяє кардинально змінити підхід до управління аграрним виробництвом завдяки використанню цифрових технологій, автоматизації та точного аналізу даних. Воно сприяє не лише зростанню врожайності й прибутковості господарств, а й забезпечує раціональне використання ресурсів, зменшуючи витрати на добрива, паливо та людські ресурси. Розвиток супутникової навігації, геоінформаційних систем, дистанційного зондування, Інтернету речей, агродронів та робототехніки відкриває нові можливості для аграріїв у прийнятті обґрунтованих рішень і точному плануванні всіх етапів польових робіт. Світовий досвід, зокрема практики США та Канади, доводить ефективність такого підходу, тоді як в Україні точне землеробство ще перебуває на етапі становлення, хоча й демонструє динамічний розвиток. Впровадження цих технологій стає дедалі актуальнішим в умовах зростання цін на ресурси, відкриття ринку землі та зростання конкуренції. Тому аграрії, які інвестують у точне землеробство, не лише оптимізують свою діяльність, а й здобувають стратегічну перевагу на ринку.

2. Детально обґрунтовано методичну базу дослідження, що включала як джерела інформації, так і методи порівняльного аналізу. Для забезпечення достовірності та об'єктивності результатів були використані актуальні наукові й технічні джерела, включаючи матеріали міжнародних організацій, офіційних виробників техніки, а також власні польові спостереження. Вибірка охопила як дані про інноваційні технології точного землеробства (на прикладі агродрона XAG P100pro), так і традиційні методи обробітку ґрунту, що дозволило створити репрезентативну порівняльну базу. Комплекс застосованих методів - зіставлення технологічних процесів, економічний і екологічний аналіз, польовий експеримент та аналіз тенденцій - забезпечив глибоке, багатостороннє вивчення досліджуваних технологій. Таким чином, методика дослідження створила надійний фундамент для

подальшого аналізу ефективності різних підходів до землеробства в умовах Київської області.

3. Здійснено всебічний аналіз природно-географічних, кліматичних та соціально-економічних умов Обухівського району Київської області, де проводилося дослідження. Встановлено, що територія характеризується сприятливим для сільськогосподарської діяльності кліматом, переважно рівнинним рельєфом, родючими ґрунтами (здебільшого чорноземами) та розвинутою водною мережею. Кліматичні умови регіону - помірно континентальні, з достатньою кількістю опадів та тривалим вегетаційним періодом - створюють хороші передумови для вирощування різноманітних культур, хоча й супроводжуються ризиками посух і заморозків. Результати аналізу дозволили визначити об'єктивні фізико-географічні й агрокліматичні особливості території, що відіграють ключову роль у виборі ефективних агротехнологій. Це, в свою чергу, створює необхідне підґрунтя для об'єктивного порівняння точного землеробства з традиційними методами обробітку ґрунту в умовах конкретного регіону.

4. Проведений аналіз ефективності точного землеробства порівняно з традиційними методами господарювання переконливо демонструє значні переваги інноваційних технологій у контексті раціонального використання ресурсів, підвищення врожайності та зменшення негативного впливу на довкілля. Завдяки використанню дронів, сенсорів, супутникового моніторингу та систем змінної норми внесення, ТЗ забезпечує більш точне та економічне застосування води, добрив і засобів захисту рослин. Зокрема, дрон XAG P100 Pro показав високу продуктивність і ефективність при внесенні добрив на різних культурах, скорочуючи час виконання робіт у кілька разів порівняно з традиційною технікою. Крім того, ТЗ дозволяє зменшити споживання пального на 6–10% та підвищити врожайність на 4–8%. Отже, впровадження точного землеробства є доцільним напрямом розвитку сучасного сільського господарства, що сприяє як економічній ефективності, так і екологічній сталості агровиробництва.

5. Розвиток точного землеробства відкриває широкі горизонти для трансформації аграрного сектору України у напрямку високотехнологічного,

сталого та конкурентоспроможного виробництва. Інтеграція дронів, роботизованих систем, штучного інтелекту, Інтернету речей та цифрових платформ формує нову модель агровиробництва, що дозволяє мінімізувати витрати ресурсів, підвищити продуктивність та покращити екологічну ситуацію. Поширення цих технологій вимагає комплексного підходу до територіального планування сільських громад: модернізації інфраструктури, розвитку цифрових мереж, адаптації землекористування та зміни у структурі зайнятості. Важливим елементом є регіоналізація впровадження інновацій із врахуванням агрокліматичних умов, підтримка освіти й професійної підготовки кадрів, а також створення ефективної системи моніторингу результатів. Успішна реалізація потенціалу точного землеробства можлива лише за умов скоординованої співпраці держави, бізнесу, науки та місцевих громад, що дасть змогу забезпечити довгострокову продовольчу безпеку та економічну стійкість аграрного сектору України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 10 найважливіших технологій точного землеробства. URL: https://kas32.com/ua/post/view/228?srsltid=AfmBOor6Be5pdQh0b--SS6TQJ0sGe91MHuGtd_sRUrqGDUzZIU1Am2xl (дата звернення: 30.03.2025).
2. AI in Agriculture – Benefits & Challenges. URL: <https://agfundernews.com/ai-in-agriculture> (дата звернення: 26.04.2025).
3. Artist's conception of GPS Block II-F satellite in Earth orbit. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Супутникова_навігація#/media/Файл:GPS_Satellite_NASA_art-iif.jpg (дата звернення: 01.04.2025).
4. FarmBot – автоматичний город. URL: <https://farm.bot> (дата звернення: 26.04.2025).
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Precision Agriculture. URL: <https://www.fao.org/precision-agriculture/en/> (дата звернення: 18.04.2025).
6. Impact of Precision Agriculture on Biodiversity. SpringerLink. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-52171-4_4 (дата звернення: 26.04.2025).
7. Internet of Things for Smart Agriculture. URL: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CB8990EN> (дата звернення: 26.04.2025).
8. Kutter, T., Tiemann, S., Siebert, R., Fountas, S. (2011). The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. Precision Agriculture, 12(1), 2–17.
9. No-Till and Precision Agriculture to Reduce Soil Erosion. USDA Natural Resources Conservation Service. URL: <https://www.nrcs.usda.gov> (дата звернення: 24.04.2025).

10. Obukhovskiy_rayon_2020.jpg. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Обухівський_район#/media/Файл:Obukhovskiy_rayon_2020.jpg (дата звернення: 01.04.2025).
11. Precision Agriculture and Water Quality. Michigan State University Extension. URL: <https://www.canr.msu.edu/news/precision-agriculture-and-water-quality> (дата звернення: 26.04.2025).
12. Precision Farming Vs Traditional Farming Comparative Analysis. Netafim India. URL: <https://www.netafimindia.com/blog/precision-farming-vs-traditional-farming-comparative-analysis/> (дата звернення: 22.04.2025).
13. Resource use efficiency in Agriculture. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/374696124_Resource_use_efficiency_in_Agriculture (дата звернення: 24.04.2025).
14. The Environmental Benefits of Precision Agriculture. Geopard. URL: <https://geopard.tech/blog/the-environmental-benefits-of-precision-agriculture/> (дата звернення: 24.04.2025).
15. The Environmental Benefits of Precision Agriculture Quantified. AEM. URL: <https://www.aem.org/news/the-environmental-benefits-of-precision-agriculture-quantified> (дата звернення: 22.04.2025).
16. The Role of Precision Agriculture in Sustainable Farming Practices. Sustainable Agriculture. URL: <https://www.sustainableagriculture.eco/post/the-role-of-precision-agriculture-in-sustainable-farming-practices> (дата звернення: 24.04.2025).
17. XAG P100 Pro. Technical specs. URL: <https://www.xa.com/en-US/p100pro> (дата звернення: 26.04.2025).
18. Агро ІТ Абетка: Г— Геоінформаційна система (ГІС). URL: <https://traktorist.ua/articles/agro-it-abetka-g-geoinformaciyna-sistema-gis> (дата звернення: 01.04.2025).

19. Агроекономічне районування України: зміни під точне землеробство. URL: <https://iae.org.ua> (дата звернення: 02.05.2025).
20. Автономна техніка та логістика у точному землеробстві. URL: <https://aggeek.net/tekhnologiyi/upravlinnya-avtomatizovanoyu-tekhnikoju/> (дата звернення: 26.04.2025).
21. Внесення в ґрунт. URL: <https://nh3.com.ua/uk/vnesenie-v-pochvu/> (дата звернення: 22.04.2025).
22. Впровадження точного землеробства. Досвід агрохолдингів. Traktorist.ua. URL: <https://traktorist.ua/articles/vprovadzheniya-tochnogo-zemlerobstva-dosvid-agroholdingivTraktorist.ua+1Пропозиція+1> (дата звернення: 26.04.2025).
23. Гідрометеоцентр. Кліматичні характеристики України. URL: <https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate> (дата звернення: 18.04.2025).
24. ГІС. Карта фізико-географічного районування України. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-1.html#x> (дата звернення: 03.04.2025).
25. ГІС. Орографічна карта України. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/orographic.html#x> (дата звернення: 03.04.2025).
26. ГІС. Карта агрокліматичного районування України. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-3.html> (дата звернення: 03.04.2025).
27. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Агрометеорологічний бюлетень. URL: <https://dsns.gov.ua/uk> (дата звернення: 03.04.2025).
28. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. РТК-система. URL: <https://www.dzk.gov.ua/activity/rtk-network.html> (дата звернення: 18.04.2025).
29. Для обробітку ґрунту в Нідерландах розробили автономного роботизованого трактора. URL: <https://superagronom.com/news/12322-dlya->

[obrobitku-gruntu-v-niderlandah-rozrobili-avtonomnogo-robotizovanogo-traktora](#)

(дата звернення: 01.04.2025).

30. Екологічний паспорт Київської області 2022. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Ekologichnyj-pasport-Kyivska-oblast.pdf> (дата звернення: 02.04.2025).

31. Зелені технології та територіальне планування: майбутнє сільських громад. URL: <https://greendeal.org.ua/sustainable-agriculture/> (дата звернення: 02.05.2025).

32. Інститут землеробства НААН України. Традиційні методи обробітку ґрунту. URL: <https://zemlerobstvo.com.ua/traditional-methods> (дата звернення: 18.04.2025).

33. Клімат Києва та області. URL: http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?dv=climate_kyiv (дата звернення: 03.04.2025).

34. Корнійчук, В. В. Основи точного землеробства: підручник. – К.: Аграрна наука, 2020. – 312 с.

35. Механізовані технології в системах точного землеробства. Agronom.com.ua. URL: <https://www.agronom.com.ua/mehanizovani-tehnologiyi-v-systemah-tochnogo-zemlerobstva/>Журнал Агроном (дата звернення: 26.04.2025).

36. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Концепція розвитку цифрової трансформації в агросекторі до 2030 року. URL: <https://minagro.gov.ua/news/koncepciya-cifrovizaciyi-v-agrosektori-ukrayini> (дата звернення: 22.04.2025).

37. Моніторинг технологій точного землеробства: рекомендації Мінагрополітики. URL: <https://minagro.gov.ua/monitoring-tz> (дата звернення: 02.05.2025).

38. Нові професії в агросекторі: запит на знання. URL: <https://latifundist.com/spetsproekty/662-novi-profesiyi-v-agrarnomu-biznesi> (дата звернення: 02.05.2025).
39. Освітні програми в агроінженерії та ТЗ. НУБіП України. URL: <https://nubip.edu.ua> (дата звернення: 02.05.2025).
40. Перспективи та особливості точного землеробства в 2025. URL: <https://agroexp.com.ua/uk/perspektivy-i-osobennosti-tochnogo-zemledeliya> (дата звернення: 30.03.2025).
41. Підтримка малих фермерів у ТЗ: роль кооперації. URL: <https://agro-usaid.org.ua/coops> (дата звернення: 02.05.2025).
42. Просторове планування у сільському господарстві. Досвід ЄС. URL: <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CA8651EN/> (дата звернення: 26.04.2025).
43. Роботизовані системи в агросекторі: перспективи в Україні. URL: <https://agrotech.ua/robotyzatsiya-v-silskomu-gospodarstvi/> (дата звернення: 26.04.2025).
44. Супутниковий моніторинг і точне землеробство. EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/platform/crop-monitoring/> (дата звернення: 02.05.2025).
45. Статистичний щорічник України за 2022 рік / Державна служба статистики України. – К.: Держстат України, 2023. – 558 с.
46. Точне землеробство. Frendt. URL: https://www.frendt.ua/wp-content/uploads/2022/11/promobuk_tochne_zemlerobstvo.pdf (дата звернення: 26.04.2025).
47. Точне землеробство. Superagronom.com. URL: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/tochne-zemlerobstvo-id18871> (дата звернення: 30.03.2025).
48. Точне землеробство - що це? Чи варто це впроваджувати? PCC Group. URL: <https://www.products.pcc.eu/uk/blog/%D1%87%D0%B8->

[%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%BE-%D0%B2%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D0%B6%D1%83%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B8-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF%D0%B8-%D1%82%D0%BE%D1%87%D0%BD/PCC](#) Group Product Portal (дата звернення: 26.04.2025).

49. Точне землеробство в Україні: визначення та перспективи. WEAGRO. URL: <https://weagro.com.ua/blog/tochne-zemlerobstvo-v-ukrayini-vyznachennya-ta-perspektyvy/> (дата звернення: 26.04.2025).

50. Точне землеробство в Україні: що це таке, особливості, як розпочати? AgroApp. URL: <https://agroapp.com.ua/uk/blog/tochne-zemlerobstvo-v-ukraini-shcho-ce-take-osoblivosti-yak-rozpoznati/> АгроАпп (дата звернення: 26.04.2025).

51. Точне землеробство: можливості, переваги та економічна ефективність. URL: <https://aggeek.net/ru-blog/technocheskoe-zemledelie-vozmozhnosti-i-effektivnost-843> (дата звернення: 20.04.2025).

52. Український гідрометеорологічний центр. Кліматичні характеристики регіонів України. URL: <https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate> (дата звернення: 03.04.2025).

53. Хай-тек і хепі-енд. Чотири успішні історії впровадження точного землеробства в Україні. SmartFarming. URL: <https://www.smartfarming.ua/khay-tek-i-kheppi-end-chotyry-uspishni-istoriyi-vprovadzhennya-tochnoho-zemlerobstva-v-ukrayini/> (дата звернення: 26.04.2025).

54. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. Клімат Києва та області. URL: http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/index.php?dv=climate_kyiv (дата звернення: 03.04.2025).

55. Цифрова інфраструктура села. Аналітична записка Мінагрополітики. URL: <https://minagro.gov.ua/digital-agro> (дата звернення: 02.05.2025).

56. Штучний інтелект та аграрна освіта. IT в агросекторі. URL: <https://smartfarming.ua/articles/digital-agriculture-planning/> (дата звернення: 26.04.2025).

57 Характеристики XAG P100pro: технічні характеристики та можливості. URL: <https://www.xa.com/en/p100pro> (дата звернення: 18.04.2025).