

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.03. – МР 2223 « С» 2023.12.07. 033 ПЗ

Лець Сергій Анатолійович

2024 р

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УРАЇНИ**

Факультет (ННІ) _____ *Механіко-технологічний* _____

УДК 629.7.05:631.5:633.15»

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Декан механіко-технологічного
факультету (Директор ННІ)

Завідувач кафедри охорони праці та
біотехнічних систем у тваринництві

_____ Братішко В.В.

_____ Хмельовський В.С.

(підпис)

(ПБ)

(підпис)

(ПБ)

“ ___ ” _____ 2024р.

“ ___ ” _____ 2024р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Дослідження конструкційних та технологічних параметрів систем авторуління при вирощуванні кукурудзи»

Спеціальність 208 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

Освітня програма Агроінженерія _____
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

_____ д.т.н., професор _____ Братішко В.В.

Керівник магістерської роботи

_____ к.т.н., ст. викладач _____ Ачкевич В.І.

Виконав

_____ Лець С.А.

КИЇВ – 2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УРАЇНИ**

Факультет (ННІ) _____

Механіко-технологічний

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві

д.т.н., професор Хмельовський В.С..

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПБ)

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ**

Лець Сергій Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма Агроінженерія

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Дослідження конструкційних та технологічних параметрів систем авторуління при вирощуванні кукурудзи»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 07 ” грудня 2023 р. № 2223 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 20 листопада 2024р

(число, місяць, рік)

Вихідні дані до магістерської роботи

Техніко-економічна характеристика господарства, нормативні документи, державні стандарти, стандарти ISO9001, ДСТУ довідкова література..

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Дослідити види та призначення систем авторуління у сільському господарстві.

2. Проаналізувати особливості використання систем авторуління для вирощування кукурудзи.

3. Оцінити ефективність впровадження технологій GNSS та RTK у роботі систем автоматичного керування.;

Дата видачі завдання «07» грудня 2023 р.

Керівник магістерської роботи _____

(підпис)

Ачкевич В.І.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Лець С.А.

(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

ЛЕЦЬ С.А. /Дослідження конструкційних та технологічних параметрів систем авторуління при вирощуванні кукурудзи / Магістерська кваліфікаційна робота. Київ: НУБіП України, 2024. 59 с., 20 слайдів презентації. Список використаних джерел налічує 9 назв.

На сьогодні точне землеробство є невід'ємною складовою сучасного сільського господарства. Однією з важливих складових є системи авторуління, які забезпечують автоматичне керування технікою з високою точністю. Магістерська кваліфікаційна робота присвячена аналізу ефективності та розробці рекомендацій щодо впровадження систем авторуління при вирощуванні кукурудзи.

Мета роботи – дослідити конструкційні та технологічні параметри систем авторуління, оцінити їх ефективність у польових умовах та запропонувати рекомендації для підвищення точності й економічності роботи.

Завдання дослідження:

1. Дослідити види та призначення систем авторуління у сільському господарстві.
2. Проаналізувати особливості використання систем авторуління для вирощування кукурудзи.
3. Оцінити ефективність впровадження технологій GNSS та RTK у роботі систем автоматичного керування.
4. Провести розрахунки точності та стабільності роботи систем при виконанні польових операцій.
5. Обґрунтувати економічну ефективність впровадження систем авторуління у господарствах.

Об'єкт дослідження – системи авторуління для сільськогосподарської техніки.
Предмет дослідження – точність та стабільність роботи систем авторуління під час вирощування кукурудзи.

У роботі проведено аналіз різних типів систем авторуління: гідравлічних, електричних та SteerReady, а також їхніх конструкційних особливостей. Вивчено вплив використання RTK- та PPP-сигналів на точність виконання польових робіт. Розроблено рекомендації щодо оптимального агрегування систем з різними типами техніки.

Економічна ефективність підтверджена розрахунками, які показали скорочення витрат на насіння, добрива та паливо завдяки зменшенню перекриттів і пропусків. Запропоновані рекомендації з охорони праці під час експлуатації систем авторуління забезпечують безпечну роботу операторів.

Ключові слова: системи авторуління, точне землеробство, GNSS, RTK, автоматичне керування, кукурудза, економічна ефективність, машинно-тракторний парк.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ	10
1.1. Види та призначення систем авторуління у сільському господарстві...	10
1.2. Особливості застосування авторуління під час вирощування кукурудзи	13
1.3. Технологічні принципи роботи систем авторуління	15
1.4. Опис об'єкту дослідження та основних задач	16
1.5. Історія розвитку систем авторуління	19
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ.....	25
Розділ 2.1. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми систем авторуління.....	25
2.2. Вибір основних параметрів для точного керування машинами.....	28
2.3. Розрахунок необхідної точності систем навігації для сівби кукурудзи.	30
2.4. Обґрунтування вибору засобів агрегування системи авторуління	32
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ.....	34
3.1 Вимоги до точності та стабільності систем навігації	34
3.2 Системи корекції сигналів та методи позиціонування.....	36
3.3 Агрегування систем авторуління з різними типами техніки.....	39
3.4 Системи керування та моніторингу	40
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	42
4.1 Загальні вимоги безпеки для систем авторуління в сільському господарстві.....	42
4.2 Вимоги безпеки до проєктованих систем автоматичного керування	43
4.3 Технічне обслуговування та зберігання систем авторуління.....	44
4.4 Протипожежні заходи при експлуатації техніки з авторулінням	45
РОЗДІЛ 5 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	46
5.1 Визначення продуктивності системи авторуління при вирощуванні кукурудзи.....	46
5.2 Визначення експлуатаційних витрат та амортизаційних відрахувань....	48

5.3 Оцінка річного економічного ефекту та терміну окупності систем авторуління.....	51
5.4. Перспективи та розвиток систем авторуління в майбутньому, що підвищить економічний ефект	57
Висновок	60
Список використаних джерел	61

ВСТУП

Сучасне сільське господарство зосереджується на підвищенні продуктивності, ефективності та точності виконання польових робіт. Завдяки розвитку технологій точного землеробства дедалі більшого значення набувають системи авторуління, що забезпечують автоматичне керування сільськогосподарською технікою. Використання таких систем значно спрощує виконання різноманітних операцій у полі — від посіву до обприскування, дозволяючи операторам зменшити кількість помилок, знизити витрати ресурсів і забезпечити рівномірність робіт.

Основою роботи систем авторуління є застосування GNSS-сигналів, що забезпечують точність руху техніки по заданій траєкторії з відхиленням до 10-25 см. Це особливо важливо для технологій посіву, внесення добрив і обробки міжрядь, де навіть незначні відхилення можуть призвести до суттєвих втрат врожаю та зниження ефективності обробітку.

Актуальність дослідження полягає у необхідності підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва за рахунок оптимізації технологічних процесів і раціонального використання ресурсів. Використання систем авторуління дозволяє не лише покращити якість виконання польових робіт, а й зменшити навантаження на оператора, забезпечуючи стабільний результат у складних умовах експлуатації.

Мета дослідження – аналіз конструкційних та технологічних параметрів систем авторуління при вирощуванні кукурудзи, оцінка їх ефективності в польових умовах, а також визначення основних переваг і можливих недоліків для підвищення врожайності культури.

Завдання дослідження:

1. Дослідити основні види систем авторуління, які використовуються в сучасному сільському господарстві.

2. Проаналізувати особливості конструкційних та технологічних параметрів систем авторуління при вирощуванні кукурудзи.

3. Оцінити ефективність використання систем авторуління для забезпечення точності польових робіт.

4. Визначити вплив застосування систем авторуління на економічні показники господарств.

Ця робота спрямована на дослідження можливостей та переваг використання авторуління в сільському господарстві, яке дозволить більш ефективно використовувати техніку, підвищуючи врожайність та зменшуючи витрати на обробіток культур.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Види та призначення систем авторуління у сільському господарстві

Системи авторуління в сільському господарстві забезпечують автоматичне керування технікою в полі по паралельних лініях або кривих, допомагаючи досягти високої точності між проходами у виконанні різних операцій, таких як:

- посів,
- внесення добрив,
- ґрунтообробіток,
- обприскування.

Вони використовують GNSS-сигнали та електронні датчики, що дозволяють підтримувати визначену траєкторію техніки з мінімальним відхиленням, зазвичай до 10-25 см.

Види систем авторуління у сільському господарстві

1. Гідравлічна система руління

Гідравлічні системи авторуління інтегруються безпосередньо в гідравліку трактора або іншої сільськогосподарської техніки, забезпечуючи високоточне керування через безпосередній контроль над рухом коліс. Завдяки точному регулюванню гідравлічного тиску такі системи дозволяють зменшити відхилення від траєкторії, особливо на великих швидкостях. Гідравлічні системи авторуління підходять для важких польових операцій, таких як посів і внесення добрив, де важлива

стабільність і точність керування. Електрична система руління Електричні системи авторуління (рис 1.1) реалізуються за допомогою електромотора, який автоматично обертає кермо. Такі системи є



Рисунок 1.1 Електричний автопілот (електрична система руління)

універсальнішими та можуть бути встановлені на широкий спектр техніки, включаючи ті, що не обладнані гідравлікою для авторуління. Електричні системи забезпечують точність і легкість установки, але їхня ефективність може бути нижчою порівняно з гідравлічними системами. Вони ідеально підходять для менших господарств або легших польових робіт, як, наприклад, обприскування або культивування.

1. Система руління на підготовлених (SteerReady) до авторуління сільськогосподарських машин

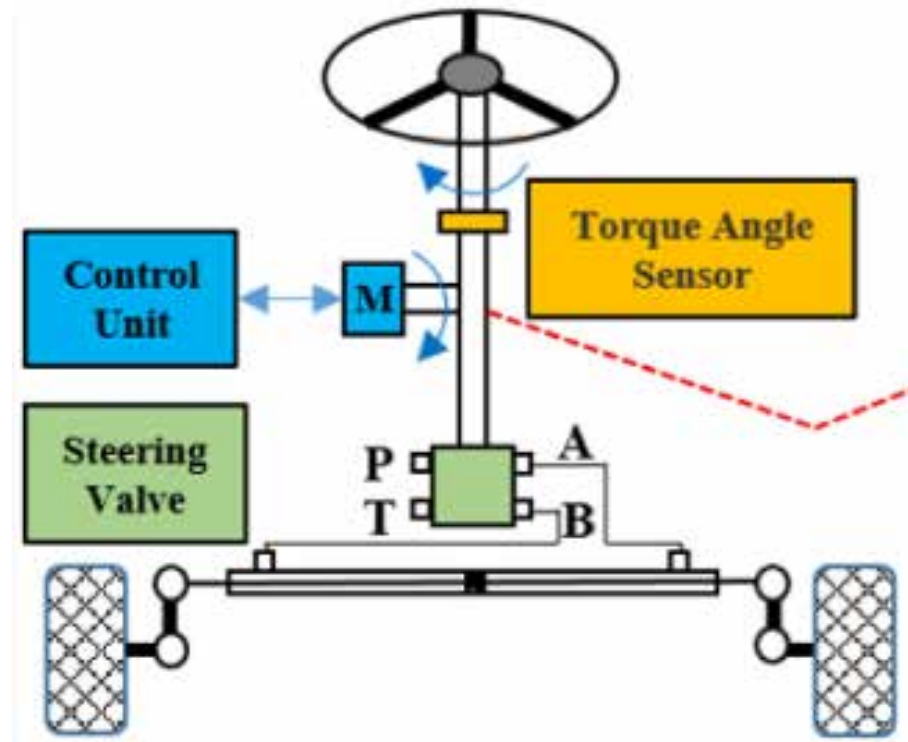


Рисунок 1.2 Система руління Steeready

2. SteerReady-системи (рис.1.2) призначені для техніки, яка вже має заводську підготовку до встановлення систем авторуління. Такі машини оснащені необхідними компонентами для інтеграції системи авторуління без потреби у значних модифікаціях. SteerReady-системи забезпечують найшвидшу установку та налаштування, оскільки вся необхідна інфраструктура вже передбачена виробником. Цей вид систем ідеально підходить для господарств, що прагнуть максимальної точності й ефективності, використовуючи машини з попередньою підготовкою.

Системи авторуління призначені для:

- Забезпечення точності руху техніки при виконанні різних польових робіт, зокрема посіву, внесення добрив, обприскування, що дозволяє уникнути пропусків і перекриттів;

- Зменшення витрат ресурсів – палива, насіння, добрив, завдяки чітким траєкторіям та економії часу на поворотах;
- Зниження навантаження на оператора – зменшується втома, а також підвищується якість роботи, адже оператору не потрібно постійно контролювати рух техніки;
- Підвищення продуктивності – система дозволяє проводити роботи з однаковою ефективністю за різних умов, навіть при поганій видимості.

Кожен із зазначених типів систем має свої переваги, залежно від типу робіт та специфіки господарства, що дозволяє фермерам вибирати оптимальне рішення для своїх потреб.

1.2. Особливості застосування авторуління під час вирощування кукурудзи

Застосування авторуління в поєднанні з іншими елементами точного землеробства під час посіву кукурудзи дає значні переваги:

1. Економія насіння:

Система авторуління дозволяє автоматично відключати приводи рядків, що допомагає уникнути перевитрати (Рис.1.0.1) насіння при перекритті. Це важливо для забезпечення оптимальної густоти посіву та зниження витрат на насіння.



Рисунок 1.0.1 Демонстрація роботи автоматичного відключення на перекритті

2. Гнучкість у роботі з жатками:

Використання системи авторуління дозволяє працювати з жатками різної кількості рядів без прив'язки до кількості рядів сівалки. Це дозволяє фермерам використовувати техніку більш ефективно та знижувати витрати на обладнання.

3. Підвищена ефективність прополки та підживлення:

Оскільки точність маршруту техніки забезпечує рівномірний рух по полю, це дозволяє досягати більш ефективного та рівномірного результату під час прополки та підживлення.

4. Робота в умовах пилюки та втоми:

Система дозволяє працювати в складних умовах, таких як пилюка або втомленість оператора, що важливо для забезпечення безперервного процесу посіву.

5. Посів вночі:

Авторуління дозволяє ефективно працювати вночі, що дозволяє фермерам дотримуватися оптимальних строків посіву та максимізувати використання робочого часу, особливо у періоди з обмеженою кількістю сонячного світла.

Ці переваги значно підвищують ефективність та економічність процесу посіву кукурудзи, особливо на великих площах.

1.3. Технологічні принципи роботи систем авторуління

Технологічні принципи роботи систем авторуління включають використання автоматизованих технологій для точного керування рухом сільськогосподарської техніки. Основні принципи роботи:

1. Використання високоточних GNSS:

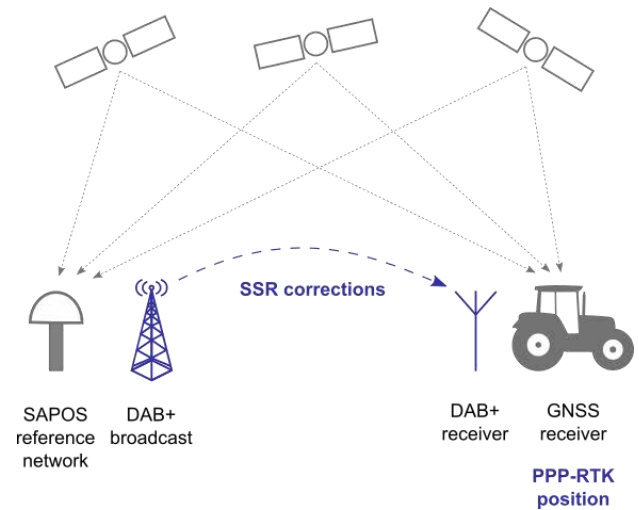
Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) забезпечують точне визначення місцезнаходження техніки, що дозволяє системі авторуління забезпечувати точний рух по заданому шляху.

2. Інерційні системи позиціонування:

Для забезпечення прямолінійного руху техніки в умовах, коли сигнал GNSS може бути нестабільним (наприклад, під час проходження через затінені ділянки або в умовах поганої видимості), використовуються інерційні системи позиціонування, такі як гіроскопи. Вони допомагають стабілізувати рух і підтримувати правильну траєкторію.

3. Сигнали корекції (RTK та PPP):

Для досягнення максимальної точності під час роботи, зокрема при посіві кукурудзи, часто використовуються додаткові сигнали корекції, такі як RTK (Real-Time Kinematic) (Рис.1.3) та PPP



(Precise Point Positioning). Ці методи

Рисунок 1.3 RTK

дозволяють підвищити точність

позиціонування до сантиметрів, що критично важливо для точного управління технікою.

4. Привід рульового керування:

Виконуючим елементом системи є привід рульового керування, який може бути гідравлічним або електро-механічним. Він автоматично регулює напрямок руху техніки, забезпечуючи точний рух по заданій траєкторії. Це знижує навантаження на оператора і підвищує точність роботи. Ці принципи дозволяють сільськогосподарській техніці працювати з високою точністю, мінімізуючи людський фактор і забезпечуючи ефективність виконання агротехнічних операцій.

1.4. Опис об'єкту дослідження та основних задач

Об'єктом дослідження є системи авторуління, які використовуються для автоматичного керування сільськогосподарською технікою під час вирощування кукурудзи. Ці системи забезпечують точність руху техніки на полі, оптимізуючи агрономічні операції, зокрема посів, обробку ґрунту, підживлення та збирання врожаю. Вони включають в себе як механічні, так і електронні компоненти, зокрема глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), датчики, приводи рульового керування та додаткові корекційні системи, такі як RTK та PPP.

Системи авторуління використовуються для забезпечення прямолінійного руху (Рис.1.4) техніки, мінімізації людського фактору, підвищення точності агротехнічних операцій, а також для зниження витрат на ресурси (насіння, добрива, паливо) та підвищення продуктивності праці.

Основні задачі дослідження:

1. Аналіз конструкційних параметрів систем авторуління:

○



Рисунок 1.4 Приклад роботи по прямих паралельних лініях

○ Дослідження конструктивних особливостей компонентів систем авторуління, таких як приводи рульового керування, навігаційні пристрої (GNSS, RTK, PPP), датчики та електронні блоки управління.

○ Оцінка ефективності використання різних типів приводів (гідравлічні, електромеханічні) та їх вплив на точність і стабільність роботи системи.

- Визначення оптимальних характеристик для забезпечення високої точності та надійності в умовах різноманітних агротехнічних операцій.

2. Оцінка технологічних параметрів:

- Вивчення технології роботи систем авторуління в різних агрономічних умовах, зокрема при посіві кукурудзи.

- Визначення впливу точності позиціонування (за допомогою GNSS, RTK та PPP) на ефективність виконання операцій: посів, прополка, підживлення та збирання врожаю.

- Оцінка впливу автоматичного керування на зменшення витрат ресурсів (насіння, добрив, пального) та підвищення ефективності агротехнічних операцій.

3. Дослідження взаємодії з іншими технологіями точного землеробства:

- Оцінка можливості інтеграції систем авторуління з іншими технологіями точного землеробства, такими як моніторинг врожайності, автоматичне відключення секцій робочих органів, системи точного внесення добрив і пестицидів.

- Визначення ефективності поєднання авторуління з іншими технологіями для забезпечення високої точності та зменшення витрат.

4. Оцінка впливу на продуктивність та економічні показники:

- Вивчення впливу застосування систем авторуління на продуктивність праці та економічну ефективність вирощування кукурудзи, зокрема через зниження витрат на техніку, паливо, насіння та добрива.

- Аналіз витрат на впровадження та експлуатацію систем авторуління, порівняння з економічною вигодою від їх використання.

5. Аналіз впливу на агрономічні показники:

- Оцінка точності посіву, рівномірності розподілу насіння та впливу на густоту посіву кукурудзи.

- Дослідження впливу систем авторуління на стан ґрунту, зокрема на ущільнення та збереження структури ґрунту, що важливо для довгострокового використання землі.

Ці дослідження дозволять удосконалити систему точного землеробства, зокрема в сфері автоматизації сільськогосподарської техніки, що сприятиме підвищенню продуктивності та зниженню витрат в аграрному секторі.

1.5. Історія розвитку систем авторуління

Системи авторуління на сільськогосподарських машинах (також відомі як системи автоматичного керування) стали важливою частиною сучасного точного землеробства, забезпечуючи високу точність обробки земель, зменшення витрат пального, зниження навантаження на оператора та оптимізацію процесів сільськогосподарського виробництва. Розвиток таких технологій пройшов довгий шлях від перших експериментальних спроб до високотехнологічних рішень, які застосовуються в аграрному секторі по всьому світу.

Ідея автоматизованого керування сільськогосподарськими машинами почала розвиватися в середині XX століття, однак тільки з початком 1970-80-х років, завдяки технологіям GPS та навігації, стала можливою реальна автоматизація керування тракторами. Спочатку такі системи були експериментальними і використовувалися переважно для великих сільськогосподарських комбайнів.

Перші системи, які можна вважати попередниками сучасних авторулінгів, базувалися на використанні механічних та пневматичних пристроїв для

допомоги в утриманні курсу. Однак вони мали значні обмеження, зокрема в точності і стабільності роботи.

З кінця 1980-х років і в 1990-х роках почали активно застосовувати GPS-навігаційні технології для автоматизації керування технікою. Це дозволило розробити більш точні і стабільні системи для автоматичного утримання курсу трактора на полі.

Однією з перших компаній, яка почала розробляти і впроваджувати такі технології, була AgLeader Technology. Заснована в 1980 році, вона активно працювала над створенням рішень для точного землеробства. У 1992 році AgLeader випустила першу систему керування сільськогосподарською технікою, засновану на GPS. Це була революційна технологія, яка дозволяла автоматично управляти трактором на полі, зменшуючи необхідність в участі оператора в процесі керування.

У той же час компанія Raven Industries, заснована в 1956 році, почала впроваджувати власні системи автоматичного керування, використовуючи GPS і комп'ютерні технології для оптимізації роботи сільськогосподарських машин. Їх системи автоматизували багато функцій, включаючи підтримку курсу трактора та регулювання швидкості, що дозволило знизити витрати пального і підвищити ефективність роботи на полях.

У 2000-х роках системи авторуління стали більш складними і функціональними. Поступово відбувався перехід від простих механічних систем до повноцінних цифрових платформ, які поєднували GPS-навігацію, датчики і комп'ютерні технології. Це дозволило досягти більшої точності керування тракторами, зокрема на великих ділянках.

Trimble Inc., компанія, що спеціалізується на навігаційних та геопросторових технологіях, почала активно працювати над системами для точного землеробства. З 1990-х років Trimble розробила цілу низку рішень для автоматизації сільськогосподарських процесів, включаючи системи

авторуління, які могли точно слідкувати за курсом трактора, навіть якщо земля була нерівною чи мала складні геометричні особливості. Це також дало змогу більш ефективно використовувати ресурси, зокрема зменшити перевитрати пального та підвищити точність обробки поля.

Novariant (заснована в 1990-х роках), компанія, що спеціалізувалася на розробці технологій точного землеробства, також активно працювала в напрямку автоматизованого керування технікою. Вони були одними з перших, хто інтегрував GPS із системами на базі комунікацій та розробляли інноваційні рішення для зручності використання аграріями.

Нова етап в розвитку систем авторуління розпочався в середині 2010-х років з інтеграцією таких технологій, як машинне навчання, комп'ютерний зір і датчики зворотного зв'язку. Це дозволило розробити більш ефективні системи, що можуть самостійно коригувати курс трактора в залежності від різних умов, таких як зміна рельєфу, перешкоди на полі або варіації в стані ґрунту.

Особливо важливим стало розвиток автономних тракторів. Наприклад, компанії, такі як John Deere, CNH Industrial та AGCO, почали випробування та серійне виробництво тракторів, здатних працювати без участі оператора. Ці трактори використовують системи GPS, датчики, камери та інші технології, щоб автоматично виконувати роботу на полі. Зазначену автономію трактори досягають через постійне коригування курсу, використовуючи системи авторуління та інші технології, які розпізнають об'єкти і перешкоди в реальному часі.

На сьогоднішній день, системи авторуління стали невід'ємною частиною точного землеробства. Вони дозволяють аграріям зменшувати витрати на пально-мастильні матеріали, підвищувати точність обробки полів, знижувати забруднення навколишнього середовища та забезпечувати більш високі врожаї. З технологіями автоматичного керування агрономи можуть працювати

з більшими площами, не втрачаючи точності, а також спостерігати за процесом обробки в реальному часі через спеціалізовані платформи.

Перспективи розвитку таких систем включають подальше вдосконалення технологій автоматичного керування, інтеграцію з іншими агротехнологіями (наприклад, автоматизація посіву, внесення добрив і захисту рослин), а також використання даних, отриманих з сенсорів і GPS, для більш точної оцінки стану ґрунту, потреб рослин та інших факторів.

Системи авторуління на тракторах стали важливим етапом у розвитку точного землеробства, і на сьогодні вони є основним інструментом для підвищення ефективності роботи сільськогосподарської техніки. Розвиток таких систем здійснювався в кілька етапів, від простих механічних пристроїв до високоточних GPS-систем і автономних тракторів. Основними гравцями у цій галузі є компанії, як Raven Industries, AgLeader Technology, Trimble, Novariant, AutoFarm, які разом із іншими виробниками сільськогосподарської техніки значно покращили способи автоматизації роботи на полях. Майбутнє таких технологій полягає в інтеграції з іншими аспектами точного землеробства, що дозволить ще більше оптимізувати процеси обробки та досягти максимальних результатів.

Система глобального позиціонування (GPS, Global Positioning System) є однією з найбільш важливих і широко використовуваних технологій сучасності, що має безліч застосувань у різних сферах: від навігації та картографії до точного землеробства, сільського господарства, військових операцій і наукових досліджень. Від початку її розробки до її сьогоденного стану GPS пройшов довгий і складний шлях, який можна розділити на кілька етапів.

Ідея глобального позиціонування на основі супутникових систем виникла після Другої світової війни, коли науковці та військові почали шукати способи для точного визначення місця розташування об'єктів у відкритому просторі. Протягом 1950-х і 1960-х років основною метою було розроблення технології,

яка могла б допомогти військовим точно визначати координати своїх об'єктів (наприклад, літаків, кораблів, ракет) на глобальній арені.

У цей період була розроблена перша система, що використовувала штучні супутники Землі. Однак ці системи не були глобальними і могли працювати лише на обмежених територіях.

Першим практичним кроком до сучасної GPS-системи стала програма TRANSIT, яку запустили у США в середині 1960-х років. Це була перша глобальна супутникова навігаційна система, яка забезпечувала точність позиціонування для військових та деяких цивільних користувачів. TRANSIT використовував 5 супутників для визначення координат користувачів.

Система TRANSIT мала певні обмеження, наприклад, вона не могла забезпечити безперервну навігацію в реальному часі і була залежною від позиції супутників, що було складно реалізувати на практиці для користувачів.

У середині 1970-х років Міністерство оборони США розпочало розробку глобальної навігаційної системи, що базувалася на супутниках. Це стало основою для створення GPS-системи. Метою було створення універсальної навігаційної системи для військових, яка б дозволяла точно визначати координати об'єктів на землі, в морі і в повітрі.

У 1973 році було офіційно запущено проект NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging), який мав на меті створити систему, що базується на 24 супутниках, що обертаються на орбіті Землі.

У 1980-х роках почалася активна розробка та запуск супутників для нової GPS-системи. Перші супутники були виведені на орбіту в 1989 році, і на початку 1990-х років система була практично завершена, складаючись з 24 супутників, які забезпечували покриття Землі.

Вперше система GPS була доступна для цивільних користувачів у 1993 році, коли вона стала частково відкритою для комерційного використання. У цей

період точність системи була обмежена — цивільним користувачам дозволялося використовувати GPS з меншою точністю (близько 100 метрів) порівняно з військовими користувачами, для яких точність могла досягати кількох метрів.

У 2000-х роках GPS пережив значне удосконалення. Одним з важливих кроків стало скасування в 2000 році "загального доступу до допуску" (Selective Availability), що значно покращило точність для цивільних користувачів. Тепер точність GPS-сигналу стала набагато вищою — до кількох метрів.

Одночасно з цим почали розвиватися нові технології, що базуються на GPS, зокрема диференційне GPS (DGPS), яке дозволяло досягати точності в кілька сантиметрів, що було важливо для таких галузей, як сільське господарство, геодезія і картографія. Важливу роль відігравала також інтеграція GPS з іншими супутниковими навігаційними системами, такими як російський ГЛОНАСС, європейський Галілео та китайський Бейдоу.

На початку 2010-х років система GPS стала невід'ємною частиною повсякденного життя. GPS-технології використовуються в смартфонах, автомобілях, безпілотних літальних апаратах, морській та авіаційній навігації, у сільському господарстві для точного землеробства та багатьох інших сферах. Точність системи досягла сантиметрових величин завдяки використанню додаткових технологій, таких як RTK (Real-Time Kinematic), а також інтеграції з іншими навігаційними супутниковими системами.

Одночасно з розвитком GPS триває робота над удосконаленням існуючих супутників і запуском нових поколінь GPS-супутників, які будуть забезпечувати ще вищу точність, кращу стабільність сигналу та здатність працювати в складних умовах (наприклад, у міських районах з високими будівлями).

Сьогодні GPS використовують не тільки для навігації, але і для управління критичними інфраструктурами, прогнозування погоди, наукових досліджень,

управління транспортними мережами та автоматизованими системами. Окрім цього, розвиток нових супутникових навігаційних систем, таких як Галілео (Європа), ГЛОНАСС (Росія), Бейдоу (Китай), а також комбіновані системи, що використовують GPS разом з іншими технологіями (наприклад, зв'язок з мережами мобільних телефонів, Wi-Fi, інерціальними датчиками), сприяють покращенню точності та надійності глобальної навігації.

На найближче майбутнє прогнозується подальший розвиток в напрямку автономних систем, таких як безпілотні транспортні засоби (автономні автомобілі, безпілотники) та точне землеробство, де GPS буде відігравати важливу роль у забезпеченні точності позиціонування та автоматизації операцій.

Система GPS пройшла довгий шлях від військових досліджень до глобального інструменту, що використовується мільйонами людей по всьому світу. З моменту свого створення вона значно змінила спосіб, у який ми орієнтуємося в просторі, ведемо бізнес і управлінські процеси, а також взаємодіємо з навколишнім світом. Технології GPS продовжують розвиватися, і ми можемо очікувати на нові інновації, які ще більше покращать точність і доступність навігаційних послуг у майбутньому

РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ

Розділ 2.1. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми систем авторуління

Системи авторуління є одними з основних елементів точного землеробства, що значно підвищують ефективність сільськогосподарських робіт. Основні компоненти таких систем включають датчики, GNSS приймачі, інерційні системи, приводи рульового керування, а також монітори для введення/виведення даних. Взаємодія цих компонентів у системі дозволяє забезпечити точність і ефективність виконання сільськогосподарських операцій, зокрема під час посіву кукурудзи.

Основні компоненти системи авторуління

1. Приводи рульового керування Привід рульового механізму є одним із основних компонентів системи авторуління. Він може бути гідравлічним або електричним. Гідравлічні приводи застосовуються для високих навантажень та забезпечують точне керування в умовах великих площ. Електричні приводи більш точні та прості в обслуговуванні, що робить їх оптимальними для малих та середніх господарств. Вибір типу приводу залежить від технічних вимог і можливостей конкретної сільськогосподарської машини.

2. Інерційна система ведення по прямим паралельним лініям Інерційні системи, такі як гіроскопи, забезпечують стабільність та точність руху техніки, навіть при тимчасових перервах у супутниковому сигналі. Ці системи дозволяють точніше коригувати траєкторію, знижуючи ймовірність відхилень, особливо в умовах поганої видимості або при пересуванні по складному рельєфу.

3. Датчики кута повороту колеса Датчики кута повороту колеса використовуються для точного визначення напрямку руху техніки. Вони можуть бути потенціометричними або безконтактними, на основі принципу роботи гіроскопа. Безконтактні датчики (наприклад, від компанії Trimble) забезпечують більш високу точність та надійність у порівнянні з потенціометричними. Якщо самохідна сільськогосподарська техніка має вбудований датчик кута повороту, то можна використовувати його без додаткових компонентів, що значно спрощує інтеграцію системи авторуління.

4. GNSS приймачі Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) є критично важливим елементом для точного позиціонування техніки. Сучасні GNSS приймачі підтримують роботу з кількома навігаційними системами, такими як GPS, Glonass, Galileo, Beidou. Це

дозволяє забезпечити високий рівень точності, навіть при роботі в умовах поганого сигналу від одного супутника. Вибір приймача, який підтримує кілька систем одночасно, дозволяє знижувати ймовірність втрати сигналу та підвищувати стабільність роботи системи.

5. Камери для ведення по рядах та датчики для визначення міжряддя



Рисунок 2.1 Камера ведення по рядах

Для покращення точності в операціях, таких як сівба кукурудзи, часто використовуються камери ведення по рядах. Компанії Raven VSN (Рис.2.1) та John Deere застосовують відеокамери для забезпечення точності в умовах, коли ряди кукурудзи стають менш виразними. В ситуаціях, коли листя перекриває міжряддя, Raven використовує датчики радарного типу, що визначають відстань між колесом і стеблом кукурудзи. У свою чергу, John Deere використовує механічні датчики на основі принципу вусиків, які безпосередньо торкаються стебел рослин для визначення міжряддя.

Взаємодія компонентів для забезпечення точності та ефективності

Всі компоненти системи авторуління взаємодіють між собою через контролер автопілота, який приймає дані з усіх датчиків і обробляє їх для корекції траєкторії руху техніки. Контролер перевіряє актуальність отриманих

даних, порівнює їх із заданими параметрами і, в разі необхідності, коригує напрямок руху. Це дозволяє забезпечити високий рівень точності та зменшити людський фактор, що є важливим для виконання точних сільськогосподарських операцій.

Сучасні системи авторуління також включають монітори для введення та виведення даних, які мають функції, схожі на персональні комп'ютери чи мобільні телефони. Вибір монітора, що підтримує інтерфейс ISOBUS, великий екран та вбудований Wi-Fi модуль, дозволяє зручно обмінюватися даними з іншими системами точного землеробства, такими як моніторинг врожайності або автоматичне відключення секцій.

Завдяки інтеграції всіх компонентів, таких як приводи рульового керування, інерційні системи, GNSS приймачі, камери та датчики, сучасні системи авторуління досягають високої точності і ефективності в роботі сільськогосподарської техніки. Це дозволяє значно підвищити продуктивність, зменшити витрати на ресурси, а також забезпечити стабільність і безпеку виконання сільськогосподарських операцій на великих площах.

2.2. Вибір основних параметрів для точного керування машинами

Вибір основних параметрів для точного керування машинами є критичним для досягнення ефективності та точності в сільськогосподарських операціях, таких як посів, обробка ґрунту, обприскування та підживлення. У цьому контексті важливими параметрами є точність позиціонування, час відгуку системи, типи сигналів корекції, гнучкість системи та ефективність роботи в різних умовах.

1. Точність позиціонування

Для посіву кукурудзи необхідно досягати точності в межах 2-4 см від проходу до проходу (Рис.2.1.1) Це дозволяє мінімізувати перекриття та забезпечити якісне обприскування, механічне знищення бур'янів і підживлення кукурудзи. Точність позиціонування має безпосередній вплив на

ефективність виконання сільськогосподарських операцій, тому важливо вибирати системи навігації, які забезпечують потрібну точність для конкретних умов роботи.

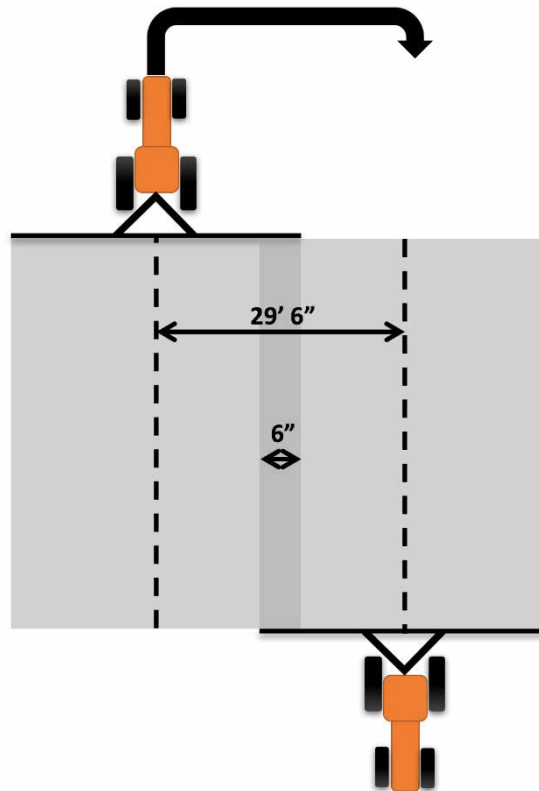


Рисунок 2.1.1 Точність від проходу до проходу

2. Час відгуку системи

Час відгуку системи впливає на точність та прямолінійність від проходу до проходу агрегата. Чим потужніший процесор в контролері автопілота та швидша шина передачі даних між сенсорами і виконуючими елементами, тим швидше і точніше техніка зможе виконувати операції на полі. Це забезпечує високу ефективність роботи, особливо при великих площах.

3. Типи сигналів корекції (RTK, PPP)

Для досягнення високої точності, зазвичай використовуються RTK або PPP (супутникова поправка), що надають точність до 2-4 см від проходу до проходу. Ці корекції відрізняються за абсолютною точністю та способом отримання коригуючого сигналу. У випадку RTK зазвичай використовують

мобільний інтернет, тоді як для PPP використовується супутниковий сигнал. Вибір між RTK і PPP залежить від умов роботи: якщо є мобільний інтернет, обирають RTK, якщо його немає — використовують супутникову корекцію (PPP).

4. Гнучкість системи

Гнучкість системи є важливим параметром, оскільки вона повинна бути адаптована до роботи в складних умовах, таких як змінний рельєф чи несприятливі погодні умови (дощ, сніг, сильний вітер). Система повинна мати можливість коригувати свої параметри для забезпечення стабільної роботи в таких умовах. Крім того, важливим є параметр пилеволого захищеності та здатність системи працювати при високих температурах, що забезпечує її надійність і тривалість роботи в різних кліматичних умовах.

5. Ефективність роботи при різних умовах

Важливим фактором є здатність системи ефективно працювати в умовах пилуки, обмеженої видимості або вночі. Це забезпечується через високу швидкість реакції системи, використання інерційних систем для компенсації короткочасних втрат сигналу GNSS, а також оптимальну конструкцію компонентів, що дозволяє працювати в складних умовах.

2.3. Розрахунок необхідної точності систем навігації для сівби кукурудзи

Точність навігаційних систем є важливим параметром для досягнення оптимальних результатів під час посіву кукурудзи. Невеликі відхилення у точності можуть вплинути на густоту посіву, ефективність використання посівної площі та економічні показники, зокрема витрати на насіння.

1. Фактори, що впливають на точність при посіві кукурудзи

На точність посіву впливають кілька факторів:

- Тип ґрунту: Найбільше на точність посіву впливає тип ґрунту. Наприклад, на піскоподібних ґрунтах трактор може почати

мускувати, а передні колеса рухатимуться зі сторони в сторону, що впливає на прямолінійність руху.

- Рельєф: Рельєф компенсується за рахунок інерційних датчиків, які встановлюються на контролер для коригування траєкторії.
- Погодні умови: Погодні умови не впливають суттєво на прямолінійність, оскільки контролер отримує дані з датчиків та GNSS приймачів, на які погода майже не впливає.

2. Необхідна точність для досягнення оптимальної густоти посіву

Для досягнення оптимальної густоти посіву кукурудзи необхідно досягати точності в межах 2-4 см від проходу до проходу. Це дозволяє мінімізувати перекриття і забезпечити рівномірний розподіл насіння, що є важливим для здорового розвитку рослин і високих урожаїв.

3. Вплив точності на економічні показники

Точність навігації безпосередньо впливає на економічні показники. Наприклад, точність міжряддя при посіві кукурудзи має великий вплив на використання посівної площі та витрати на насіння. Якщо точність складає 70 см, а фактична ширина міжряддя становить 75 см, кількість проходів сівалки зменшується, що призводить до економії насіння.

Приклад: Для поля розміром 50 га і 8-рядної сівалки з міжряддям 70 см кількість проходів буде 178. Якщо міжряддя збільшується до 75 см, кількість проходів зменшується до 176. Таким чином, кожен прохід займає площу 0,28 га, що в результаті може призвести до втрат на площі 0,5 га. При середній врожайності 10 т/га і ціні 200 дол. за тону втрати на 50 га становитимуть 1000 доларів.

4. Мінімальна і максимальна допустима похибка для сівби кукурудзи

Мінімальна і максимальна допустима похибка при посіві кукурудзи повинна бути в межах 2 см. Це забезпечує оптимальне використання посівної

площі та мінімізує втрати насіння, що має важливе економічне значення для фермерів.

5. Роль технологій навігації (GNSS, RTK) у досягненні точності

Різні технології навігації, такі як GNSS, RTK та PPP, допомагають забезпечити необхідну точність при виконанні сільськогосподарських операцій. RTK забезпечує найвищу точність до 1-2 см, використовуючи корекційні сигнали в реальному часі через мобільний інтернет або базову станцію. PPP (супутникова поправка) також забезпечує високу точність, але не потребує мобільного інтернету і може працювати на основі супутникового сигналу.

2.4. Обґрунтування вибору засобів агрегування системи авторуління

При виборі засобів агрегування для системи авторуління одним з головних факторів є сумісність протоколів комунікації між сільськогосподарськими машинами та їхнім обладнанням. Найбільш ефективним протоколом для цього є Isobus, який дозволяє забезпечити взаємодію між технікою різних виробників без необхідності в додаткових адаптерах або спеціальних кабелях. Це дозволяє інтегрувати різні типи обладнання (трактори, сівалки, обприскувачі, комбайни) в одну систему для зручного управління через єдиний монітор, що значно полегшує роботу оператора та знижує витрати на додаткове обладнання.

Система авторуління повинна бути сумісною з різними типами техніки, включаючи трактори, сівалки, обприскувачі та комбайни. Ключовим аргументом при виборі системи автопілота є її здатність інтегруватися з різними типами техніки, що мають підтримку стандарту Isobus, що дозволяє обмінюватися даними без складних налаштувань. Для інтеграції з технікою різних виробників цей стандарт є важливим, оскільки дозволяє зменшити витрати на адаптацію нових технологій.

Вибір оптимальних механічних і електричних з'єднань є важливим для забезпечення надійної та ефективної роботи всієї системи. Для інтеграції системи авторуління з технікою найкраще використовувати стандартизовані з'єднання, які дозволяють швидко і без проблем підключати різні компоненти. Це включає стандартні з'єднання для рульових приводів, датчиків кута повороту, GNSS приймачів та інших елементів системи. Оскільки на ринку існують різні варіанти техніки та обладнання, наявність єдиного стандарту комунікації (Isobus) дозволяє спростити процес інтеграції, знижуючи витрати на обладнання та обслуговування.

При виборі системи авторуління для самохідних машин, таких як Steerready, важливою перевагою є те, що вона вже має вбудовану систему автопілотування та підтримує Isobus шини комунікації (Рис.2.2) тракторів. Це дозволяє інтегрувати систему авторуління без потреби в додаткових компонентах, таких як гідроблоки, шланги або датчики кута повороту,

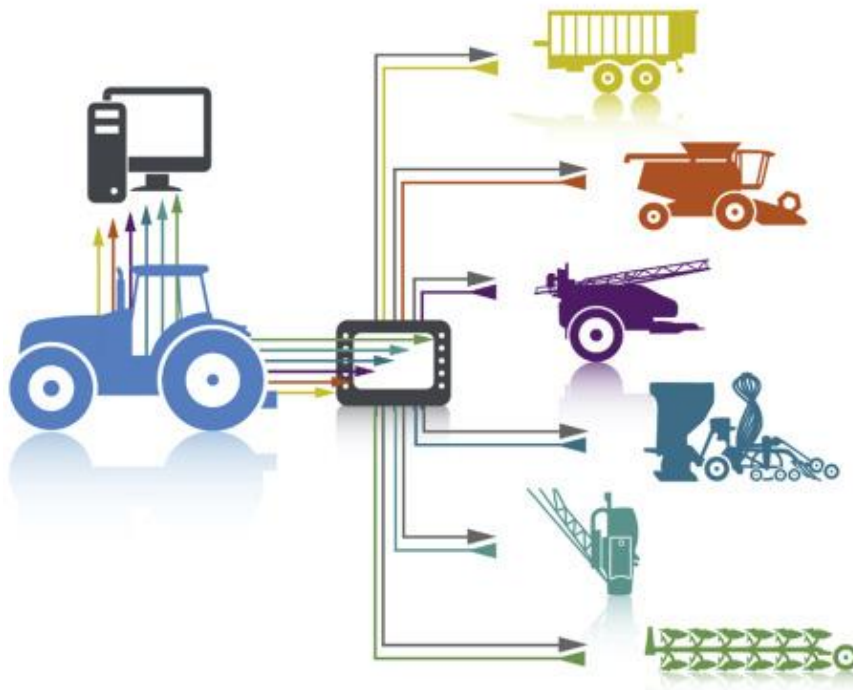


Рисунок 2.2 Візуалізація принципу роботи системи ISOBUS

оскільки всі необхідні компоненти вже включені в стандартну комплектацію техніки.

Вибір агрегування системи авторуління також впливає на ефективність роботи техніки на великих площах. Завдяки наявності єдиного стандарту комунікації та оптимальних з'єднань, зменшується час на налаштування та підключення різних агрегатів. Це дозволяє значно підвищити продуктивність праці, зменшити витрати на обслуговування техніки та забезпечити високу точність виконання сільськогосподарських операцій, таких як посів, обробка ґрунту, обприскування та підживлення.

Інтеграція різних типів техніки через стандарт Isobus забезпечує максимальну гнучкість у виборі обладнання та дозволяє аграріям використовувати найсучасніші технології для досягнення високої точності та ефективності в процесах точного землеробства.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ

3.1 Вимоги до точності та стабільності систем навігації

Для досягнення високої ефективності виконання польових операцій у сільському господарстві необхідно забезпечити точність і стабільність систем навігації, що відповідають потребам конкретних культур і видів робіт. Різні операції мають свої вимоги до точності проходів, які безпосередньо впливають на економічні показники, врожайність та якість виконаних робіт. Дослідження точності систем навігації включає такі аспекти:

Необхідна точність для різних польових операцій

- Посів технічних культур (кукурудза, цукровий буряк): Для культур з високими вимогами до густоти та міжряддя, таких як кукурудза та буряк, критичною є точність у межах 1-2 см. Така точність забезпечує оптимальні умови для рівномірного розташування насіння, подальшого розвитку рослин та збільшення врожайності. Невеликі похибки при посіві можуть призвести до втрат через недотримання міжряддя або загущення, що впливає на економічні показники.

- **Обприскування:** Ця операція також вимагає високої точності, оскільки рівномірність внесення препаратів є вирішальним фактором для ефективного захисту рослин. Точність у межах 1-2 см дозволяє уникнути перекриттів і пропусків, що є особливо важливим під час роботи на великих площах і сприяє економії препаратів та оптимізації витрат.
- **Ґрунтообробіток:** Для обробітку ґрунту точність у межах 15-20 см між проходами є достатньою, оскільки головним критерієм є рівномірність обробітку на всій площі поля. Важливо, щоб трактори забезпечували стабільність руху навіть на змінних рельєфах, уникаючи небажаних перекриттів.

Вплив точності на економічні показники

Точність навігації прямо впливає на витрати господарства на насіння, добрива, засоби захисту рослин та паливо. Наприклад, для кукурудзи навіть незначні відхилення від оптимального міжряддя можуть спричинити зниження врожайності. Для культур з високою щільністю посіву, таких як цукровий буряк, точність забезпечує правильну густоту посіву, що є важливою умовою для подальшого збирання спеціалізованими комбайнами. Завдяки зменшенню перекриттів і пропусків забезпечується оптимальне використання ресурсів, що знижує виробничі витрати.

Стабільність системи навігації

- **Різні швидкості руху техніки:** Одним з основних аспектів ефективної роботи системи є її стабільність при різних швидкостях руху техніки. Під час обприскування, коли швидкість може досягати 25-30 км/год, важливо, щоб система забезпечувала стабільне функціонування і точність курсу, дотримуючись оптимальних термінів обробки, що максимізує ефект від застосування препаратів.
- **Умови рельєфу та тип ґрунту:** Стабільність навігації також залежить від рельєфу поля та типу ґрунту. Наприклад, на піщаних ґрунтах техніка

може «плавати», що ускладнює прямолінійний рух і може вимагати додаткових систем корекції. На складних рельєфах робота інерційних датчиків дозволяє коригувати нахили, зберігаючи точність проходу.

Сучасні навігаційні системи, зокрема GNSS з технологією RTK, дозволяють досягати високої точності (1-2 см) та стабільності. Це є основою для ефективного виконання польових операцій у сільському господарстві, що суттєво підвищує рентабельність агротехнологій, знижуючи витрати на ресурси й забезпечуючи максимальну врожайність.

3.2 Системи корекції сигналів та методи позиціонування

Забезпечення високої точності навігації для сільськогосподарських робіт вимагає використання коригуючих сигналів, які компенсують похибки супутникової навігації. Вибір технології корекції залежить від вимог до точності, доступності сигналу та умов роботи. Наведемо порівняння основних технологій корекції сигналу та розглянемо фактори, що впливають на стабільність і точність навігаційних систем.

Порівняння RTK, PPP та інших технологій корекції сигналу:

- RTK (Real-Time Kinematic): Технологія забезпечує найвищу точність – 1-2 см, використовуючи наземну базову станцію або мережу базових станцій, яка надсилає коригуючі дані мобільним інтернетом. Це дозволяє оперативно отримувати поправки в реальному часі, що робить RTK оптимальним для високоточного посіву технічних культур, таких як кукурудза чи цукровий буряк. RTK-системи добре працюють у регіонах з доступом до стабільного мобільного інтернету, як-от мережі LTE, але можуть бути менш ефективними у віддалених зонах.
- PPP (Precise Point Positioning): Забезпечує точність 2-4 см без використання наземних базових станцій, оскільки коригуючі дані надходять безпосередньо через супутники. Це дозволяє застосовувати PPP навіть у віддалених місцях, де відсутня інфраструктура для RTK.

Хоча PPP має меншу затримку сигналу, її достатньо для багатьох польових робіт, наприклад, для обприскування чи збирання врожаю, але для високоточних операцій посіву RTK зазвичай надає кращі результати.

- SBAS/EGNOS (Satellite-Based Augmentation Systems) (Рис.3.1): Це безкоштовні коригуючі системи, наприклад, EGNOS у Європі, які забезпечують точність близько 0,5 м. Ці системи підходять для менш точних завдань, як-от обробіток ґрунту чи прибирання врожаю на

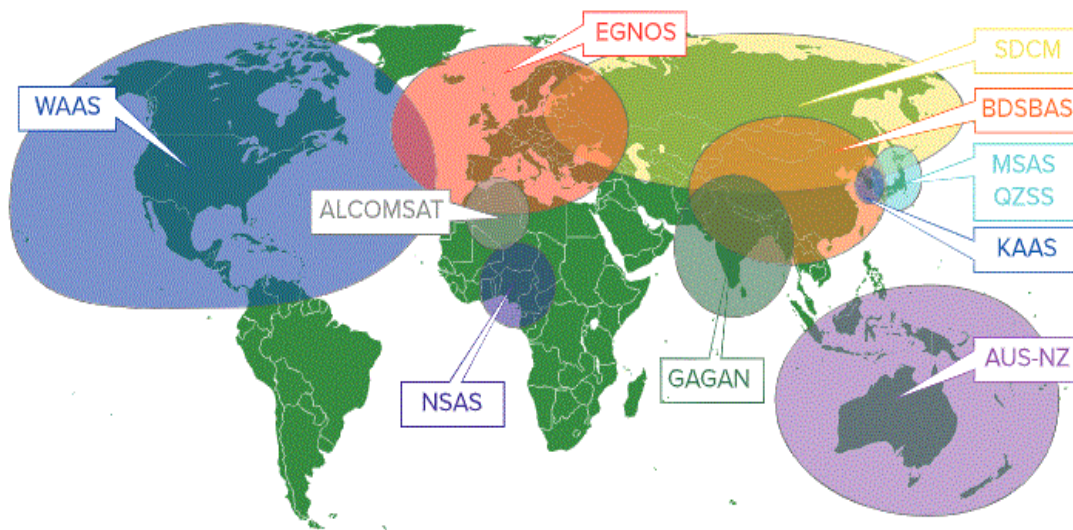


Рисунок 3.1 Карта покриття безкоштовними корекціями

великих площах, де точність міжряддя не є критичною. SBAS використовується в регіонах, які мають покриття супутниками EGNOS і інших систем.

- Galileo High Accuracy Service (HAS): З 2023 року доступна безкоштовна поправка з точністю до 10 см, що дозволяє виконувати більш точні завдання без витрат на комерційні підписки. Сигнал від Galileo може стати ефективним доповненням для роботи в умовах, де RTK або PPP є недоступними.

Роль супутникової та інтернет-корекції для досягнення високої точності навігації:

- Інтернет-корекція: Важливий елемент для передачі коригуючого сигналу, особливо у RTK, де сигнал надходить через мобільний інтернет або супутникові інтернет-системи, такі як Starlink. Доступність і якість інтернету мають вирішальне значення для стабільності RTK-поправок на великих площах. Прикладом може бути ферма, що працює у зонах LTE, де RTK дозволяє досягти точності для посіву на рівні 1-2 см.
- Супутникова корекція: Використовується у випадках, коли немає інтернет-зв'язку. PPP та Galileo можуть бути альтернативою для досягнення точності у віддалених місцях. Наприклад, ферма в гірських районах, де інтернет не завжди доступний, може застосовувати PPP для обприскування та збору врожаю, оскільки ці операції не потребують точності на рівні 1 см.

Визначення параметрів сигналу, важливих для роботи системи авторуління на великих площах:

- Пряма видимість та потужність сигналу: Важливий параметр для безперебійної роботи. Наприклад, система PPP може втрачати стабільність при перешкодах, таких як будівлі або щільна рослинність, тоді як RTK залежить від стабільного інтернет-з'єднання. Вибір технології корекції слід робити залежно від доступності прямої видимості та наявності перешкод.
- Точність і стабільність при високих швидкостях: Для робіт на високій швидкості, наприклад, обприскування на 25-30 км/год, стабільність сигналу є критичною, оскільки навіть короткочасного збою можуть призвести до відхилення від траєкторії. RTK або Galileo можуть бути оптимальними варіантами для забезпечення стабільності при таких завданнях.

Ці системи корекції дозволяють вибирати найбільш оптимальний варіант залежно від умов роботи, точності та стабільності, що необхідні для конкретної операції у сільському господарстві.

3.3 Агрегування систем авторуління з різними типами техніки

Ефективна робота систем авторуління в сільському господарстві значною мірою залежить від правильного агрегування системи з різними типами техніки, такими як трактори, комбайни та обприскувачі. Вибір оптимальної конфігурації підключення та налаштування системи залежить від типу виконуваних робіт, наявних навісних та причіпних агрегатів, а також від сумісності обладнання різних виробників.

- Різні виробники мають свої методи підключення систем покращеного сигналу для навігаційних систем, однак загальний принцип залишається схожим. Зазвичай для підключення потрібно ввести код розблокування, що здійснюється через термінал, спеціальний додаток або інтернет. Корируючі сигнали діляться на два рівні точності: субдециметрову (TerrastarL, SF1, RangePoint) та сантиметрову (Terrastar C-Pro, SF3, CenterPoint). Окрім разового розблокування, потрібна підписка, яка для базових сигналів триває 1 рік, а для сантиметрової точності може бути оформлена на період від місяця до року.

- Для посіву кукурудзи кількість рядів сівалки має відповідати формі та конфігурації поля: на полях із кривими та заокругленими формами рекомендовано використовувати сівалки з меншою кількістю рядів для кращого проходження по кривинах. Важливо також враховувати ширину наявного обприскувача для досягнення оптимального розміщення рядків. Під час збирання врожаю ключовим елементом для забезпечення

ефективності роботи є жатка комбайна. Її ширина має відповідати сівалці, щоб уникнути повторного проходження або пропусків.

- Протокол та стандарт ISOBUS надає значні переваги для уніфікації роботи з різними агрегатами. ISOBUS забезпечує універсальність і сумісність, дозволяючи працювати з різними агрегатами через один термінал, що зменшує потребу у встановленні додаткових моніторів у кабіні трактора. Це сприяє зручності роботи та спрощує процес управління технікою. Водночас ISOBUS має відносно низьку пропускну здатність у порівнянні з іншими CAN-шинами, що може обмежувати передачу великих обсягів даних, необхідних для складних систем керування. Це створює певні виклики для виробників, які прагнуть одночасно підвищити функціональність та зберегти високу швидкість передачі даних.

- Приклади впровадження ISOBUS включають компанії, такі як HORSCH, яка використовує технологію ISOBUS для забезпечення повної сумісності своєї техніки з обладнанням інших виробників, що дозволяє досягати високої точності та ефективності роботи. Також компанія KUHN пропонує термінали та рішення ISOBUS, які забезпечують зв'язок між тракторами, терміналами, програмним забезпеченням для управління господарствами та обладнанням від основних виробників сільськогосподарської техніки.

- Таким чином, правильне агрегування систем авторуління з різними типами техніки та використання стандартів, таких як ISOBUS, сприяє підвищенню ефективності та точності сільськогосподарських операцій.

3.4 Системи керування та моніторингу

Системи керування та моніторингу відіграють ключову роль у забезпеченні точності, стабільності та ефективності роботи навігаційних комплексів для сільськогосподарської техніки. Вибір та впровадження певних типів систем

керування, а також використання сучасних інерційних систем і датчиків кута повороту забезпечують надійну роботу та високу продуктивність техніки.

- Огляд сучасних систем моніторингу та їх значення для забезпечення точності навігації:
 - Сучасні навігаційні системи для сільськогосподарської техніки відображають інформацію через індикатори кольору або поділки. Червоний колір сигналізує про відсутність навігаційного сигналу, жовтий — про недостатню точність, а зелений вказує на готовність до роботи.
 - Важливим елементом є відображення типу корекції, який використовує система, оскільки на моніторі зазвичай відображається не фактична точність, а відхилення від навігаційної лінії. GNSS-приймач повинен забезпечувати точність на період до 10-15 хвилин навіть у разі втрати коригуючого сигналу від супутника або RTK, що не завжди можливо для дешевших моделей приймачів.
- Порівняння гідравлічних та електричних систем керування для сільськогосподарської техніки:
 - Електричні системи керування: Повільніші та менш точні через наявність передавального механізму, такого як рульова колонка та насос-дозатор. Це створює хвилясту траєкторію замість прямої при високих швидкостях, що унеможлиблює якісне водіння на великих швидкостях. Такі системи зазвичай не оснащені датчиком кута повороту коліс, що може бути опційно доступним у деяких виробників. Постійне обертання керма також створює певний дискомфорт.
 - Гідравлічні системи керування: Більш точні, особливо при високих швидкостях, але потребують додаткового блоку та

шлангів для підключення, що ускладнює процес встановлення. Steeready-системи є оптимальним рішенням, оскільки мають найвищу точність, проте ціни на них на 30-40% вищі порівняно з електричними аналогами та на 10-20% вищі за Steeready.

- Впровадження інерційних систем та датчиків кута повороту для покращення стабільності роботи:
 - В умовах України інерційні системи та датчики кута повороту можуть забезпечити стабільність роботи навіть у разі втрати GNSS-сигналу. Часті повітряні тривоги можуть переривати GNSS-навігацію, ускладнюючи роботу навігаційних систем. Тому перехід на інерційні системи навігації, які не залежать від супутникових сигналів, є оптимальним рішенням для майбутніх автономних сільськогосподарських машин та вдосконалення існуючих тракторів.
 - Інерційні системи мають потенціал стати основою для подальшого розвитку систем навігації, оскільки вони забезпечують стабільну та надійну роботу, що є критично важливим для польових операцій у змінних умовах.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги безпеки для систем авторуління в сільському господарстві

Використання систем авторуління в сільському господарстві сприяє підвищенню точності, ефективності та економічності польових робіт. Однак, через автоматизацію процесів виникають специфічні вимоги до безпеки, які забезпечують надійну та безпечну експлуатацію техніки:

- Навчання персоналу: Оператори, які використовують системи авторуління, повинні пройти спеціалізовані курси, що охоплюють теоретичні аспекти, практичні навички та методи управління ризиками.

Це навчання включає розуміння системних команд, особливостей різних режимів автоматичного керування та заходів безпеки.

- **Перевірка обладнання перед роботою:** Перед кожною зміною оператор зобов'язаний перевірити справність навігаційних систем і датчиків. Це включає контроль точності позиціонування, рівень заряду елементів живлення, цілісність кабелів, а також стабільність і точність роботи сенсорів.
- **Моніторинг роботи:** Оператор повинен постійно спостерігати за станом машини навіть під час автоматичного керування. Це дозволяє швидко реагувати у випадку виявлення збоїв або виходу системи з ладу. Регулярне ведення записів щодо збоїв допоможе вчасно виявляти та усувати проблеми в роботі.
- **Дотримання інструкцій виробника:** Всі операції із встановлення, налаштування, використання та обслуговування систем авторуління повинні виконуватися суворо відповідно до рекомендацій та інструкцій виробника, щоб уникнути несанкціонованих змін у налаштуваннях системи.

4.2 Вимоги безпеки до проєктованих систем автоматичного керування

Розробка та проєктування систем автоматичного керування вимагає суворого дотримання нормативів, що забезпечують їх надійність і безпеку:

- **Надійність та відмовостійкість:** Проєктовані системи повинні мати високу відмовостійкість і можливість продовжувати роботу в умовах змінних навантажень. Використання резервного живлення або батарейної підтримки дозволяє уникнути повної зупинки техніки у випадку збоїв.
- **Інтерфейс користувача:** Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс дозволяє операторам легко переходити між режимами автоматичного та ручного

керування. Наявність чітких індикаторів та зрозумілих команд знижує ризик неправильного використання системи, що особливо важливо під час роботи в екстрених ситуаціях.

- Системи аварійного відключення: Автономні системи повинні бути оснащені функціями аварійного відключення, які забезпечують безпечну зупинку техніки у випадку збою системи. Це захищає як оператора, так і навколишніх працівників.
- Відповідність стандартам: Системи автоматичного керування повинні відповідати міжнародним стандартам безпеки (ISO) та національним нормам, що стосуються сільськогосподарської техніки. Регулярне проведення сертифікацій забезпечує контроль якості обладнання та його відповідність сучасним вимогам.

4.3 Технічне обслуговування та зберігання систем авторуління

Для забезпечення безперебійної та довготривалої роботи систем авторуління необхідно регулярно проводити технічне обслуговування та дотримуватись правил їх зберігання:

- Регулярне технічне обслуговування: Обслуговування включає перевірку стану всіх компонентів системи, таких як приводи, датчики, монітори та навігаційні приймачі. Рекомендується перевіряти систему на точність калібрування, а також тестувати всі компоненти перед кожним новим сезоном.
- Очищення та захист компонентів: Після кожного робочого дня слід очищувати обладнання від залишків пилу та бруду, щоб уникнути їх накопичення на сенсорах і антени приймача. Це запобігає зниженню точності навігації та подовжує термін служби обладнання.
- Зберігання обладнання: Важливо зберігати обладнання в сухих, захищених від погодних умов приміщеннях, щоб уникнути корозії та

пошкоджень. Забороняється зберігати обладнання при високій вологості, надмірній спеці або в умовах впливу прямих сонячних променів.

- Оновлення програмного забезпечення: Регулярне оновлення ПЗ забезпечує актуальність функцій та підвищує безпеку системи. Встановлення оновлень може включати виправлення помилок, покращення алгоритмів обробки сигналів або додавання нових функцій, що забезпечують більш стабільну роботу.

4.4 Протипожежні заходи при експлуатації техніки з авторулінням

Оскільки сільськогосподарська техніка є високопотенційним джерелом займання, важливо дотримуватись правил пожежної безпеки під час її експлуатації:

- Оснащення техніки засобами пожежогасіння: Кожна одиниця техніки повинна мати комплект пожежного обладнання, включаючи вогнегасники, вогнетривкі покриття та пожежні шланги, для негайного реагування на загоряння.
- Перевірка систем запалювання та охолодження: Пильний контроль за станом паливних шлангів, вихлопної системи, іскрогасників, а також системи охолодження допомагає знизити ризик займання. Регулярна заміна зношених деталей зменшує ризик утворення іскор.
- Очищення техніки від залишків рослинності: Частки рослин і зерна, що накопичуються на валах, приводах і радіаторах, можуть стати джерелом займання через перегрів. Очищення всіх частин техніки знижує ризик пожежі та підвищує ефективність охолодження.
- Заправка та зберігання пального: Заправку техніки слід проводити на безпечній відстані від полів, бажано на спеціально обладнаних майданчиках з належними умовами безпеки. Для зберігання пального також мають бути створені умови з протипожежним захистом.

- Вимоги до розташування стоянок та пасік: Місця стоянки техніки, пасіки, току та інші об'єкти, які можуть спричинити загоряння, мають бути розташовані на безпечній відстані від масивів посівів та місць збирання врожаю.

РОЗДІЛ 5 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

5.1 Визначення продуктивності системи авторуління при вирощуванні кукурудзи

Висока точність системи авторуління є критично важливою для оптимального використання посівної площі та забезпечення рівномірного розвитку рослин кукурудзи. Зазвичай для точного висіву кукурудзи потрібно досягти точності міжряддя в межах 2–4 см. Такий рівень точності дозволяє уникнути надмірного перекриття рядків та зменшити зони з недостатньою чи надмірною щільністю висіву, що може негативно вплинути на врожайність. Завдяки цьому кожна рослина отримує достатньо місця та ресурсів для росту, що сприяє рівномірному розвитку всієї культури.

Відсутність перекриттів є також критично важливою при подальших обробках, таких як внесення добрив, засобів захисту рослин, обприскування тощо. Оптимальне розташування рядків і мінімізація пропусків дозволяють зменшити ризик недоотримання врожаю внаслідок недостатнього живлення рослин або недостатнього захисту від шкідників. Наприклад, точність міжряддя на рівні 2-4 см є важливою для забезпечення точного застосування добрив у потрібному місці, що сприяє не тільки кращому росту рослин, а й знижує витрати на добрива, оскільки вони використовуються більш економічно та ефективно.

Збільшення швидкості роботи

Сучасні системи авторуління здатні підтримувати точність навіть при високих робочих швидкостях — до 25-30 км/год. Це особливо важливо для обробки великих полів, коли швидкість обробки поля впливає на загальний термін

виконання операцій. Завдяки стабільній роботі на високих швидкостях, система дозволяє скоротити час, необхідний для обробки поля, що є особливо корисним у випадках, коли погодні умови обмежують період виконання польових робіт.

Збільшення швидкості роботи також сприяє зниженню загальної завантаженості техніки, що забезпечує можливість швидшого обслуговування більшої кількості полів або скорочення робочого часу, необхідного для певної площі. Крім того, робота на високих швидкостях при точному дотриманні траєкторії забезпечує рівномірність виконання всіх агротехнічних операцій, знижуючи ризики пропусків або подвійної обробки, що безпосередньо впливає на економічний результат.

Ефективне використання пального

Застосування системи авторуління дозволяє мінімізувати витрати на пальне завдяки зменшенню зайвих рухів техніки та забезпеченню оптимальної траєкторії руху. Зазвичай, коли техніка управляється вручну, водії схильні до певних помилок, що призводять до перекриттів або пропусків, внаслідок чого машина змушена повторно проходити деякі ділянки. Це не лише збільшує загальний час роботи, але й знижує економічну ефективність через підвищене споживання пального.

Система авторуління вирішує цю проблему шляхом точного контролю за траєкторією руху агрегата. Наприклад, під час обробки великого поля точне дотримання ліній руху знижує потребу в зайвих маневрах, що дозволяє значно скоротити витрати пального. Для фермерів це означає зменшення загальних експлуатаційних витрат, оскільки на великих площах навіть незначна економія пального при кожному проході призводить до значних заощаджень у масштабах усього господарства.

Зниження людського фактора

Однією з основних переваг системи авторуління є зниження залежності від людського фактору. Під час керування технікою вручну водій має постійно зосереджуватись на точності проходу, що особливо важко на великих площах або за умов обмеженої видимості (наприклад, у темний час доби, у тумані чи під час дощу). Це призводить до втоми, зниження концентрації та збільшення ймовірності помилок.

Система авторуління зменшує потребу у постійному втручанні водія, дозволяючи йому зосередитися на інших аспектах роботи або контролювати параметри обробки без необхідності постійного коригування курсу. Це також сприяє зменшенню фізичного навантаження на оператора, що знижує ризики помилок, особливо під час довгих робочих змін. Таким чином, навіть за умов, коли на полі працює малокваліфікований персонал, система авторуління забезпечує належний рівень точності, що знижує залежність від рівня підготовки та досвіду оператора.

Загалом, точність, швидкість, ефективність використання ресурсів та зниження людського фактору забезпечують значне підвищення продуктивності системи авторуління при вирощуванні кукурудзи, сприяючи оптимізації витрат, підвищенню врожайності та покращенню загальних економічних показників аграрного виробництва.

5.2 Визначення експлуатаційних витрат та амортизаційних відрахувань

Експлуатаційні витрати

Сучасні системи авторуління, що застосовуються для підвищення точності та ефективності сільськогосподарських операцій, вимагають комплексного підходу до розрахунку експлуатаційних витрат. Експлуатаційні витрати можна поділити на декілька основних категорій: регулярне обслуговування, плата за коригуючі сигнали та витрати на оновлення програмного забезпечення. Кожна з цих категорій є важливою для забезпечення стабільної та точної роботи системи.

1. Витрати на обслуговування. Як і будь-яке складне обладнання, системи авторуління потребують регулярного технічного обслуговування для підтримки їхньої ефективності та надійності. Це включає в себе періодичну перевірку та налаштування ключових компонентів, таких як датчики кута повороту, інерційні датчики, приводи тощо. Залежно від умов експлуатації, обслуговування може бути необхідним частіше (наприклад, для полів з великим рівнем пилу або на нерівних ділянках, що підвищує навантаження на систему). Регулярне обслуговування дозволяє мінімізувати ризик виходу з ладу, а також забезпечити стабільну роботу на різних швидкостях та в різних умовах. Для фермерських господарств це є критичним, оскільки несправність під час сезону може призвести до втрати частини врожаю.
2. Витрати на коригуючий сигнал. Для підтримки високої точності позиціонування, особливо при посіві та обробці культур, часто необхідно використовувати платні коригуючі сигнали, такі як RTK або PPP. Вони забезпечують стабільну точність до 2-4 см, що є важливим при виконанні точних робіт, особливо на великих площах. Наприклад, RTK-сигнал передається через мережу базових станцій і вимагає підписки або одноразового платежу. Це може бути суттєвим витратним елементом для фермерських господарств, але при цьому він є виправданим, оскільки забезпечує стабільність сигналу навіть на віддалених ділянках поля. Вибір між RTK і PPP залежить від наявності мобільного інтернету та умов роботи на полі. Якщо в регіоні немає стабільного інтернет-покриття, то RTK-сигнал може бути менш ефективним, і тоді варто розглядати супутникову корекцію (PPP), яка також вимагає додаткових витрат.
3. Витрати на оновлення ПЗ і ліцензійні платежі. Оскільки системи авторуління працюють на основі складного програмного забезпечення, важливо періодично оновлювати його для підтримання стабільної

роботи та сумісності з іншими компонентами. Виробники систем регулярно випускають оновлення, які можуть поліпшити функціональність, підвищити точність або забезпечити сумісність з новими версіями GNSS-приймачів та іншого обладнання. Важливим аспектом є також необхідність у ліцензійних платежах для доступу до деяких функцій або для використання програмного забезпечення на різних платформах. Наприклад, певні функції моніторингу можуть бути доступні тільки за умови придбання відповідної ліцензії, що впливає на загальні витрати. Ліцензії можуть надаватися на разовій основі або за умовами щорічної підписки, що потрібно враховувати при розрахунках довгострокових витрат.

Амортизаційні відрахування

Амортизація обладнання є важливою частиною економічних розрахунків, оскільки вона дозволяє врахувати витрати на поступове зношення компонентів системи авторуління. До основних елементів, що підлягають амортизації, належать монітори, GNSS-приймачі, контролери та інші апаратні засоби, які мають обмежений термін служби.

1. Розрахунок терміну служби обладнання та річних амортизаційних відрахувань. Термін служби окремих компонентів системи авторуління зазвичай коливається в межах від 5 до 7 років. Протягом цього періоду відбувається поступове зношення апаратних компонентів, а також моральне старіння, особливо з огляду на швидкий розвиток технологій точного землеробства. Амортизаційні відрахування дають змогу врахувати витрати на заміну обладнання або його модернізацію після завершення строку служби. Наприклад, вартість заміни GNSS-приймача чи монітора може бути суттєвою, тому такі витрати слід передбачити заздалегідь. Розрахунок амортизації допомагає визначити щорічний бюджет для відшкодування витрат на обладнання, що сприяє кращому плануванню фінансів.

2. Можливість податкових пільг для обладнання точного землеробства згідно з законодавством України. В Україні існують державні програми підтримки аграрного сектору, які передбачають податкові пільги для фермерів, що інвестують у сучасні технології. Це може включати пільгові умови амортизації для обладнання точного землеробства, а також можливість отримання компенсацій або зниження податкового навантаження. Наприклад, у деяких випадках витрати на впровадження технологій точного землеробства можуть бути частково компенсовані з боку держави, що позитивно впливає на економічну ефективність. Врахування податкових пільг дозволяє зменшити загальні амортизаційні витрати та підвищити рентабельність використання системи авторуління. Для фермерських господарств це може бути суттєвим аргументом на користь інвестицій у точне землеробство, оскільки частина витрат може бути компенсована через податкові пільги.

Узагалі, розрахунок експлуатаційних витрат та амортизаційних відрахувань є важливим етапом для обґрунтування економічної доцільності впровадження системи авторуління. Він включає як постійні витрати на обслуговування та ліцензійні платежі, так і амортизацію обладнання, що дозволяє оцінити реальний економічний ефект від використання системи авторуління на довгостроковій основі.

5.3 Оцінка річного економічного ефекту та терміну окупності систем авторуління

Річний економічний ефект

Системи авторуління в аграрній галузі пропонують численні економічні вигоди, що мають значний вплив на рентабельність фермерського господарства. Ключовими аспектами економічного ефекту є економія на посівних матеріалах, зниження витрат на паливо, оптимізація використання добрив та засобів захисту рослин, а також скорочення витрат на оплату праці. Кожен із цих аспектів детально розглянемо нижче.

1. Оцінка економії на посівних матеріалах. Важливим показником є економія на насінневому матеріалі. На основі отриманих даних, при зменшенні похибки на 3% економія на посівних матеріалах становить для кукурудзи близько \$2,250 на 100 га, а на площі 1000 га – до \$22,500. Застосування системи авторуління дозволяє уникнути дублювання посівів на одних і тих самих ділянках, що особливо важливо для культур із високою вартістю насіння, таких як кукурудза чи ріпак. Це також допомагає підтримувати оптимальну густоту висіву, яка є критичною для максимального врожаю. Досвід фермерів у США, Канаді та країнах ЄС показує, що економія на насінні завдяки точному висіву може сягати до 10-15% від загальних витрат на насіння.
2. Скорочення витрат на пальне. Завдяки оптимізації маршрутів техніки на полі системи авторуління дозволяють значно скоротити витрати на пальне. Наприклад, кожен додатковий прохід техніки, викликаний неточним керуванням, збільшує споживання пального. Використання авторуління дозволяє забезпечити точне дотримання траєкторії руху, знижуючи потребу в зайвих маневрах та повторних проходах. Це призводить до економії до 10% пального на гектар, що особливо помітно на великих площах. На 500 га така економія може сягати до \$1,500–\$2,000 лише на пальному. Окрім зниження витрат на пальне, це також позитивно впливає на довговічність техніки, зменшуючи її знос та частоту обслуговування.
3. Зменшення витрат на добрива та засоби захисту рослин. За рахунок точного дотримання ліній руху та виключення перекриттів під час обробки, системи авторуління дозволяють оптимізувати внесення добрив і пестицидів. Це не тільки сприяє зниженню витрат на хімікати, а й підвищує екологічну ефективність господарства, знижуючи ризик забруднення навколишнього середовища надлишковими добривами або хімічними засобами. Наприклад, економія на обприскуванні завдяки

точності проходів може складати до 5-7% від загальних витрат на хімікати. Для великих фермерських господарств ця економія може досягати кількох тисяч доларів за сезон.

4. Зменшення витрат на оплату праці. Завдяки автоматизованому керуванню, системи авторуління дозволяють скоротити робочий час на полі, що знижує витрати на оплату праці. Наприклад, оператору не потрібно постійно контролювати курс техніки, що зменшує втомлюваність і дозволяє виконувати роботи швидше та з меншою кількістю помилок. Це особливо важливо для великих господарств, де обробка кожного додаткового гектара потребує більше часу та робочої сили. У багатьох випадках автоматизовані системи дозволяють фермеру обійтись без додаткового персоналу, що знижує загальні витрати на оплату праці.

Термін окупності

Аналіз терміну окупності системи авторуління дозволяє оцінити, наскільки швидко інвестиція в технологію почне приносити прибуток. Розрахунок окупності базується на даних про річний економічний ефект, початкові інвестиції та масштаби господарства. Нижче наведено приклади можливих сценаріїв окупності для різних типів культур та площ.

1. Аналіз повернення інвестицій. На основі отриманих даних, економія для кукурудзи на площі 1000 га може становити до \$22,500 на рік при зменшенні похибки на 3%. З урахуванням початкових витрат на систему авторуління, термін окупності для такого господарства може становити 1-2 роки, що робить інвестицію надзвичайно вигідною. Навіть для невеликих площ (100 га) річний економічний ефект становить \$2,250, що дозволяє окупити інвестиції протягом 2-3 років.
2. Можливі сценарії окупності. Окупність системи авторуління варіюється в залежності від виду культур та їхніх витрат. Наприклад, для культур з

високою собівартістю, таких як кукурудза чи ріпак, окупність настане швидше через високу економію на насінні та хімікатах. Для культур з нижчою собівартістю, як пшениця або соя, термін окупності може бути трохи довшим. Однак, завдяки масштабному ефекту та постійній економії на витратах, навіть для таких культур інвестиція у систему авторуління є виправданою. Інтенсивне використання системи на всіх етапах (посів, обробка, обприскування) також сприяє більш швидкій окупності.

Порівняння з іншими технологіями точного землеробства

На відміну від базових систем позиціонування, які забезпечують точність 10-15 см, системи з RTK- або PPP-корекцією дозволяють досягти точності 2-4 см. Це робить їх більш ефективними для культур, що вимагають високої точності, наприклад, кукурудзи. Більш точні системи дозволяють досягти оптимального розміщення рослин та знижують ризик перекриттів, що є критичним для економічної ефективності. Інші технології точного землеробства, такі як сенсорні системи для моніторингу врожайності або контролю стану ґрунту, можуть доповнювати системи авторуління, створюючи комплексне рішення для максимізації врожайності та зниження витрат.

Візуалізація даних та реальні приклади

Щоб ілюструвати наведені дані, можна використати графіки, що демонструють економічний ефект для різних площ і культур. Наприклад:

- Графік річної економії на площах від 100 до 1000 га для кукурудзи, сої та пшениці. (Рис.5.1)

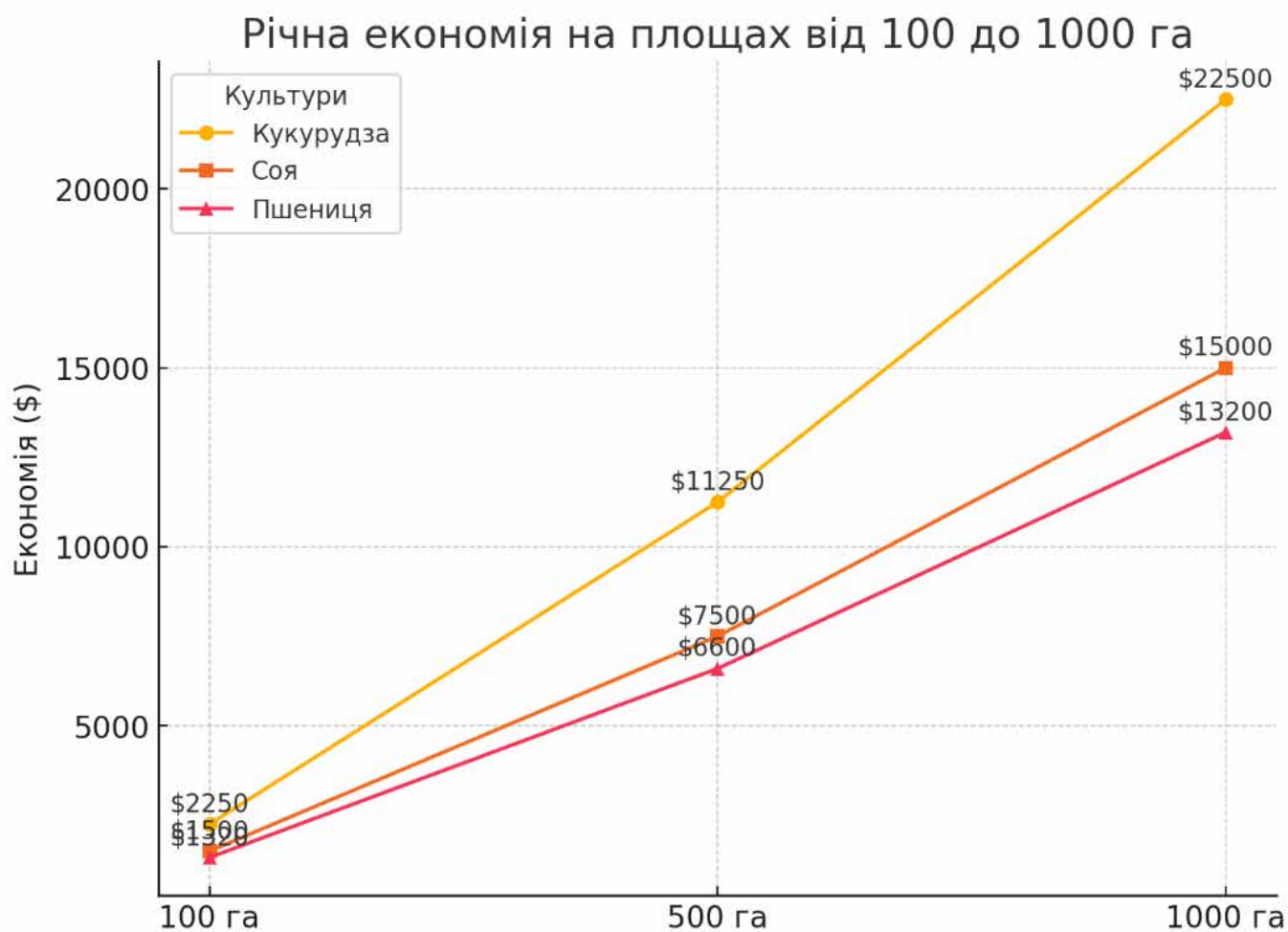


Рисунок 5.1 Діаграма

Графік терміну окупності системи при різних площах та інвестиціях в систему авторуління. (Рис.5.2)

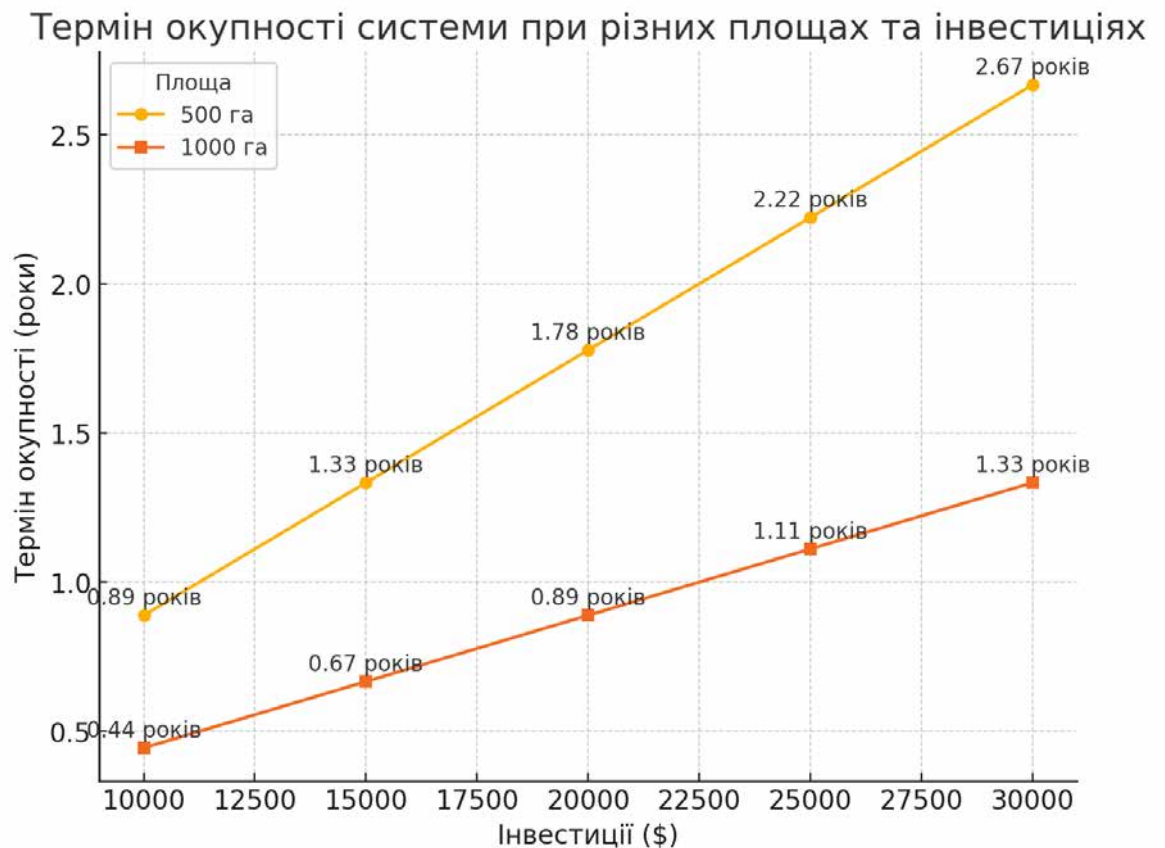


Рисунок 5.2 Діаграма 2

Також, можна навести приклади з досвіду фермерів у Канаді, США та Австралії. У цих країнах фермери відзначають, що системи авторуління окупаються в середньому за 1-2 роки для великих площ і до 3 років для невеликих господарств. Це підтверджує економічну вигоду від використання таких систем навіть у країнах з різними кліматичними та аграрними умовами.

Загалом, використання систем авторуління для точного землеробства має суттєві економічні переваги. Завдяки високій точності, ефективному використанню ресурсів та можливості оптимізації витрат на посівні матеріали, добрива та паливо, фермери отримують високий річний економічний ефект,

який дозволяє окупити систему в короткі терміни. Це робить інвестицію в авторуління виправданою для господарств різного масштабу.

5.4. Перспективи та розвиток систем авторуління в майбутньому, що підвищить економічний ефект

Майбутнє систем автоматичного керування тракторами обіцяє значні перспективи, що зумовлені розвитком технологій та зростаючою потребою в сталих і ефективних сільськогосподарських практиках. Оскільки фермери стикаються з такими викликами, як дефіцит робочої сили, зростання експлуатаційних витрат та екологічні проблеми, розвиток систем автопілоту відіграватиме ключову роль у вирішенні цих питань, одночасно підвищуючи економічну ефективність.

Одним із найбільш перспективних напрямків розвитку є інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання. Ці технології дозволяють системам автопілоту обробляти величезні обсяги даних у режимі реального часу, отриманих із сенсорів, камер і GPS-пристроїв. Системи на основі ШІ можуть навчатися та адаптуватися до змінних умов у полі, покращуючи точність і ефективність виконання завдань, таких як оранка, сівба та збирання врожаю. Наприклад, аналізуючи стан ґрунту, зразки росту рослин та прогнози погоди, ці системи можуть ухвалювати обґрунтовані рішення для оптимізації роботи в полі, зниження споживання пального та мінімізації втрат. Це не лише зменшує витрати, але й сприяє впровадженню сталих практик ведення господарства.

Важливу роль у майбутньому автопілоту відіграє розвиток високоточного GNSS (глобальних навігаційних супутникових систем). Використання технологій RTK (кінематика в реальному часі) та корекцій супутникових сигналів забезпечує точність на рівні сантиметрів під час керування тракторами, що дозволяє усунути перекриття та пропуски під час виконання польових операцій. Ця точність напряду впливає на економію ресурсів, таких як насіння, добрива та пестициди, а також на підвищення врожайності завдяки рівномірному покриттю поля. З розвитком GNSS, що стає більш доступним і

надійним, автопілот буде активно впроваджуватись навіть на невеликих і середніх фермерських господарствах.

Автоматизація та технологія "роїв" є революційним напрямком у сільськогосподарській техніці. Автономні трактори та цілі флоти менших координованих машин розробляються для спільної роботи, що оптимізує ефективність у великих господарствах. Такі системи можуть виконувати завдання безперервно, незалежно від погодних умов або часу доби, значно підвищуючи продуктивність. Завдяки зменшенню залежності від людської праці вони вирішують проблему дефіциту робочої сили та знижують витрати на найм і навчання операторів. Технологія "роїв" також відкриває можливості для виконання спеціалізованих завдань, таких як цільове видалення бур'янів чи точна сівба, що ще більше підвищує ефективність.

Інтеграція систем автопілоту з технологією змінної норми внесення (VRT) забезпечить ще більшу економічну вигоду. VRT дозволяє точно дозувати ресурси залежно від варіативності ґрунту, забезпечуючи їх використання там, де вони найбільше потрібні. Це зменшує витрати на ресурси та покращує якість і врожайність культур. У поєднанні з автопілотом VRT гарантує, що кожен прохід трактора буде оптимізований як з точки зору точності, так і ефективності, забезпечуючи максимальну економічну віддачу від інвестицій.

Розвиток електричних і гібридних тракторів відкриває нові перспективи для систем автопілоту. Ці машини відповідають зростаючим вимогам до сталого сільського господарства, знижуючи викиди парникових газів і експлуатаційні витрати. Системи автопілоту будуть невід'ємною частиною роботи таких передових тракторів, забезпечуючи їм таку саму або навіть більшу ефективність, як у традиційних аналогів, і водночас сприяючи досягненню екологічних цілей.

Підключення до хмарних технологій і Інтернету речей (IoT) стане рушійною силою революції в системах автопілоту, створюючи повністю інтегровані

системи управління господарством. Завдяки платформам на основі хмарних технологій фермери отримують доступ до даних у режимі реального часу про свою техніку, поля та погодні умови. Системи автопілоту зможуть використовувати ці дані для покращення планування операцій, моніторингу стану обладнання та навіть прогнозування необхідності технічного обслуговування, зменшуючи простої та витрати на ремонт. Такий рівень інтеграції сприяє більш цілісному підходу до управління господарством, підвищуючи як продуктивність, так і прибутковість.

Із зростанням впровадження систем автопілоту економія на масштабах, імовірно, сприятиме зниженню їхньої вартості, роблячи технологію доступною для ширшого кола фермерів. Спрощені інтерфейси користувача та розширені системи підтримки зменшать криву навчання, заохочуючи використання навіть серед тих, хто має менше технічного досвіду. Крім того, урядові стимули та субсидії на технології точного землеробства прискорять цей тренд, оскільки політики визнають роль цих систем у забезпеченні продовольчої безпеки та сталого розвитку.

Юридичні та регуляторні зміни також впливатимуть на майбутнє автопілоту. Чіткі стандарти та правила щодо експлуатації автономної техніки забезпечать безпеку та надійність, зміцнюючи довіру користувачів і зацікавлених сторін. Спільна робота виробників, дослідників і регуляторів буде вирішальною для подолання потенційних викликів, таких як ризики кібербезпеки та питання відповідальності.

Таким чином, розвиток систем автопілоту для тракторів змінить сучасне сільське господарство, забезпечуючи економічну ефективність, сталість і продуктивність. З розвитком технологій ці системи стануть незамінними інструментами для фермерів, допомагаючи їм долати виклики майбутнього та максимізувати економічні переваги точного землеробства. Сукупний вплив ШІ, автоматизації, підключення та сталих практик гарантує, що системи автопілоту залишатимуться на передовій сільськогосподарських інновацій.

Висновок

У цьому дослідженні розглянуто можливості систем авторуління в контексті підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. Сучасні технології автоматичного керування технікою, такі як системи авторуління, сприяють досягненню високої точності під час виконання польових робіт, що забезпечує низку економічних і технічних переваг для фермерських господарств. Точне керування траєкторією руху дозволяє мінімізувати перекриття і пропуски, що знижує витрати на насіння, добрива, засоби захисту рослин та паливо, оптимізуючи використання посівних площ.

Економічний аналіз підтверджує, що інвестиції у впровадження систем авторуління є виправданими. Для культур з високою собівартістю насіння, таких як кукурудза та ріпак, ефект від зниження витрат особливо відчутний, що дозволяє окупити систему за 1-2 роки на великих площах. Це підтверджує практичну користь технологій точного землеробства для зниження собівартості продукції та підвищення її конкурентоспроможності. Зменшення залежності від людського фактора також покращує якість роботи техніки та знижує ризик помилок, особливо під час тривалих робочих змін.

Крім того, системи авторуління є невід'ємною частиною сучасних комплексних рішень точного землеробства, які включають GNSS-навігацію, RTK-корекцію та інші технології. Завдяки інтеграції цих компонентів фермери отримують надійний інструмент для управління технологічними процесами на всіх етапах виробництва, що особливо актуально в умовах великих аграрних підприємств.

У підсумку, впровадження систем авторуління є стратегічно вигідною інвестицією для сільського господарства. Їхнє застосування не тільки підвищує економічну ефективність та знижує експлуатаційні витрати, але й

сприяє сталому розвитку аграрного сектору, відповідаючи сучасним викликам і вимогам ринку.

Список використаних джерел

5. Build your precision package. Режим доступу: <https://www.agleader.com/view-all-products/>
6. High-Precision GNSS for Precision Agriculture & Farming, Режим доступу: <https://novatel.com/industries/agriculture>
7. SC1™ & TC1™, Режим доступу: <https://portal.ravenprecision.com/sc1>
8. Навігація та автоматичне управління, Режим доступу: <https://ua.ptxtrimble.com/rishennya/navihatsiya-ta-avtomatychnе-upravlinnya/>
9. Compatibility Check ISOBUS, Режим доступу: <https://www.aef-isobus-database.org/isobusdb/internal/compatibility/index.jsf>
10. Outback eDriveM, Режим доступу: <https://www.outbackguidance.com/Products/Autosteer/Outback-eDriveM>
11. Outback eDrive ESI, Режим доступу: <https://www.outbackguidance.com/Products/Autosteer/Outback-eDrive-ESI>
12. What is Galileo HAS?, Режим доступу: <https://www.gsc-europa.eu/galileo/services/galileo-high-accuracy-service-has>
13. Magnum Auto Steer- still having problems, Режим доступу: <https://newagtalk.com/forums/thread-view.asp?tid=1180193&mid=10963601#M10963601>