

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Михайло ШУЛЯК

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Оцінка ефективності застосування системи автоматичного керування секціями просапної сівалки»

Виконав:

(підпис)

Володимир ПОЛЩУК
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Група:

СТЗ 2402-1м

Науковий керівник:

(підпис)

Владислав ЗУБКО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент:

(підпис)

В'ячеслав ТАРЕЛЬНИК
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Суми – 2025

АНОТАЦІЯ

Поліщук Володимир Олександрович

Оцінка ефективності застосування системи автоматичного керування секціями просапної сівалки.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра за освітньою програмою «Системи точного землеробства» зі спеціальності 208 «Агроінженерія». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Зменшення площі подвійного посіву на полях вирощування просапних культур, де перекриття роботи сівалок є неминучим явищем, зокрема в зонах крайніх проходів, точкових рядах або на ділянках, що розташовані навколо різноманітних внутрішніх перешкод на полі, здатне суттєво підвищити чистий прибуток господарства. Це досягається за рахунок зменшення зайвих витрат на насіння та, відповідно, збільшення потенційного доходу від врожаю. Головною метою цього тематичного дослідження було представлення узагальнених результатів, отриманих із 52 різних полів, які демонструють масштаби можливих втрат від подвійного висіву та, відповідно, величину потенційної економії, що може бути досягнута в разі інвестування у впровадження системи автоматичного керування секціями (ASC) для посівних машин.

За результатами аналізу встановлено, що частка площі з подвійним посівом може варіюватися в досить широких межах — від 0,1% до 15,5%. Такі відмінності зумовлені насамперед розмірами полів, їх конфігурацією та наявністю складних контурів. З огляду на це всі досліджувані поля було поділено на три групи: з низьким, середнім та високим рівнем подвійного висіву, причому цей показник визначався саме за відсотковим співвідношенням площі перекриття. На основі зібраних даних було проведено оцінку потенційної економії, яку може забезпечити впровадження систем ASC для сівалок.

Отримані результати показали, що використання цієї технології може забезпечити економію в межах від 4 до 26 доларів США на гектар. Величина економії значною мірою залежала від того, які типи полів переважають у структурі господарства. Крім того, дослідження виявило, що рівень заощаджень та мінімальний час, необхідний для того, щоб інвестиції в систему ASC повністю окупилися та забезпечували позитивний чистий грошовий потік щороку, визначається як розміром фермерського господарства, так і структурою розподілу полів різних типів у його земельному банку.

Ключові слова:

точність висіву, площа подвійного посіву, автоматизована система контролю, сингуляція, контроль норми

ABSTRACT

Polishchuk Volodymyr Oleksandrovyh

Evaluation of the effectiveness of the use of the automatic control system for the sections of a row-crop seeder.

Qualification work for the master's degree in the educational program "Precision farming systems" in the specialty 208 "Agroengineering". Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

Reducing the area of double sowing in the fields of row-crop cultivation, where the overlap of the work of the seeder is an inevitable phenomenon, in particular in the zones of extreme aisles, point rows or in areas located around various internal obstacles in the field, can significantly increase the net profit of the farm. This is achieved by reducing unnecessary costs for seeds and, accordingly, increasing the potential income from the crop. The main objective of this case study was to present the results of 52 different fields, which demonstrate the scale of possible losses from double sowing and, accordingly, the potential savings that can be achieved by investing in the implementation of automatic section control (ASC) systems for seeders.

The analysis showed that the share of the area with double sowing can vary quite widely - from 0.1% to 15.5%. Such differences are primarily due to the size of the fields, their configuration and the presence of complex contours. In view of this, all the studied fields were divided into three groups: with low, medium and high levels of double sowing, and this indicator was determined precisely by the percentage of overlap area. Based on the collected data, an assessment of the potential savings that the implementation of ASC systems for seeders can provide was carried out.

The results obtained showed that the use of this technology can provide savings in the range of 4 to 26 US dollars per hectare. The magnitude of the savings depended largely on the type of fields that predominated on the farm. In addition, the study found that the level of savings and the minimum time required for the investment in the ASC system to fully pay for itself and provide a positive net cash flow each year were determined by both the size of the farm and the distribution of different types of fields in its land bank.

Keywords: seeding accuracy, double-cropping area, automated control system, singulation, rate control.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. Стан питання і задачі досліджень	11
1.1 Системи контролю висіву як засіб зменшення площ подвійного посіву	11
1.2 Аналіз досліджень роботи систем контролю висіву (ASC)	14
Розділ 2. Обладнання і методика досліджень	17
2.1 Збір польових даних	17
2.2 Аналіз інвестицій в ASC	25
2.3 Вартість ASC на сівалках.....	26
2.4 Інвестиційні сценарії.....	26
Розділ 3. Аналіз отриманих результатів	28
3.1 Порівняння оцінки площі подвійного посіву за допомогою FieldCAT.....	28
3.2. Описова статистика для полів з низькою, помірною та високою площею подвійного посіву.....	30
3.3 Економія від ASC на сівалках.....	32
3.4 Аналіз інвестиційних сценаріїв з використанням бюджетів грошових потоків.....	33
Висновки.....	38
Список використаних джерел.....	40

ВСТУП

1. Актуальність теми

Сучасні технології точного землеробства дедалі активніше впроваджуються у виробничі процеси аграрних підприємств, забезпечуючи підвищення ефективності використання ресурсів, мінімізацію втрат та оптимізацію витрат. Одним із ключових елементів таких технологій є системи автоматичного керування секціями просапних сівалок (ASC), які дозволяють значно зменшити площі перекриття та подвійного висіву. Подвійний посів формує нераціональні втрати насіння, погіршує рівномірність розміщення рослин, знижує продуктивність культури та призводить до економічних збитків. Особливо гостро ця проблема проявляється на полях зі складною формою, численними внутрішніми перешкодами або нерівномірними контурами.

У контексті підвищення рентабельності аграрного виробництва, оптимізації виробничих витрат та необхідності ефективного використання насінневого матеріалу використання автоматизованих систем керування секціями стає важливим технологічним рішенням. Їх впровадження дозволяє не лише підвищити точність посіву, а й забезпечити економічні переваги, зокрема швидшу окупність технічних інвестицій. Це зумовлює актуальність дослідження ефективності ASC у реальних умовах господарств та визначення потенційної економії, яку може забезпечити ця технологія.

2. Аналіз стану наукової розробки проблеми

У наукових публікаціях останніх років значна увага приділяється дослідженням точності висіву, впливу сингуляції на продуктивність культур, а також аналізу наслідків перекриття під час роботи сівалок. Розглядаються питання оптимізації норми висіву, підвищення точності вимкнення секцій, зниження витрат насінневого матеріалу та покращення просторової рівномірності розміщення рослин. Закордонні та вітчизняні дослідники

активно вивчають функціонування систем ASC, їх технічні особливості та ефективність використання на полях різних розмірів і конфігурацій.

Разом із тим, незважаючи на наявність окремих досліджень, залишається недостатньо опрацьованим питання комплексної оцінки економічного ефекту від впровадження систем автоматичного керування секціями. Особливо актуальним є аналіз ASC на основі великих масивів фактичних польових даних, що дає змогу більш об'єктивно визначити рівень подвійного висіву, величину потенційної економії та реальний термін окупності інвестицій. Саме ці аспекти потребують подальшого наукового опрацювання.

3. Мета дослідження

Метою дослідження є оцінка ефективності застосування системи автоматичного керування секціями просапної сівалки шляхом визначення рівня подвійного висіву та розрахунку потенційної економії при її впровадженні.

4. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процес висіву просапних культур із використанням сучасних технологій точного землеробства.

5. Предмет дослідження

Предметом дослідження є техніко-економічні показники роботи систем автоматичного керування секціями (ASC), що впливають на точність висіву та рівень подвійного посіву.

6. Завдання дослідження

Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан розвитку систем контролю та керування висівом на просапних сівалках.
2. Дослідити існуючі наукові підходи до оцінювання точності висіву та зменшення площ подвійного посіву.
3. Провести порівняльний аналіз площ перекриття за допомогою інструментів точного землеробства.

4. Визначити потенційну економію від впровадження систем ASC на полях різних типів.
5. Розрахувати інвестиційну привабливість впровадження ASC, зокрема терміни окупності та вплив розміру господарства на економічну ефективність.

7. Методи дослідження

У роботі використано метод аналізу та узагальнення літературних джерел, методи геоінформаційної обробки польових даних, статистичний аналіз, методи оцінювання економічної ефективності інвестицій, порівняльний аналіз та моделювання техніко-економічних сценаріїв.

8. Структура та обсяг роботи

Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Робота містить 5 таблиць, 5 рисунків та 2 додатки. Загальний обсяг роботи становить 43 сторінки тексту.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Системи контролю висіву як засіб зменшення площ подвійного посіву

Поширеною проблемою під час сівби є перекриття площі посіву через затор у точкових та кінцевих рядах, під час поворотів на краю поля та під час об'їзду перешкод у межах поля. На рис. 1 показано мінімальну площу подвійного посіву (жовта область), яка зазвичай виникає у пунктирних, кінцевих рядах та на краю поля. Подвійний посів є дорогим через втрату насіння та потенційні втрати врожаю через посилення конкуренції рослин та/або зниження ефективності збору врожаю на ділянках з подвійним посівом. Перекриття смуг від операцій внесення, таких як посів, визначається такими факторами, як форма поля, перешкоди на полі, розмір поля, ширина знаряддя, напрямок польових робочих колій та точність оператора машини. Поля з більшою кількістю перешкод та нерівностей меж, як правило, призводять до збільшення перекриття знаряддя.

Також, оскільки виробники переходять до більших обсягів операцій, вони купують ширше обладнання для пришвидшення польових робіт. Зі збільшенням ширини знаряддя також зростає потенціал для перекриття смуг, особливо в кінцевих та пунктирних рядах. Неточні оператори обладнання також можуть спричинити перекриття знаряддя. Оператори обладнання можуть призвести до подвійного внесення добрив шляхом надмірного внесення на початку та/або в кінці проходів знаряддя (рис. 1).

Напрямок польових колій або орієнтація шляху знаряддя також впливає на перекриття. Однак існує компроміс між впливом орієнтації шляху на площу перекриття та часом, необхідним для завершення польової операції (тобто ефективністю роботи машини на полі) з використанням шляху, який мінімізує площу перекриття. Витрати на насіння в сільськогосподарському виробництві зросли на 95% за останнє десятиліття і продовжують зростати, головним чином через те, що виробники висівають відносно дороге генетично

модифіковане насіння. Таким чином, фермери шукають технології, які знижують витрати на насіння та підвищують продуктивність.

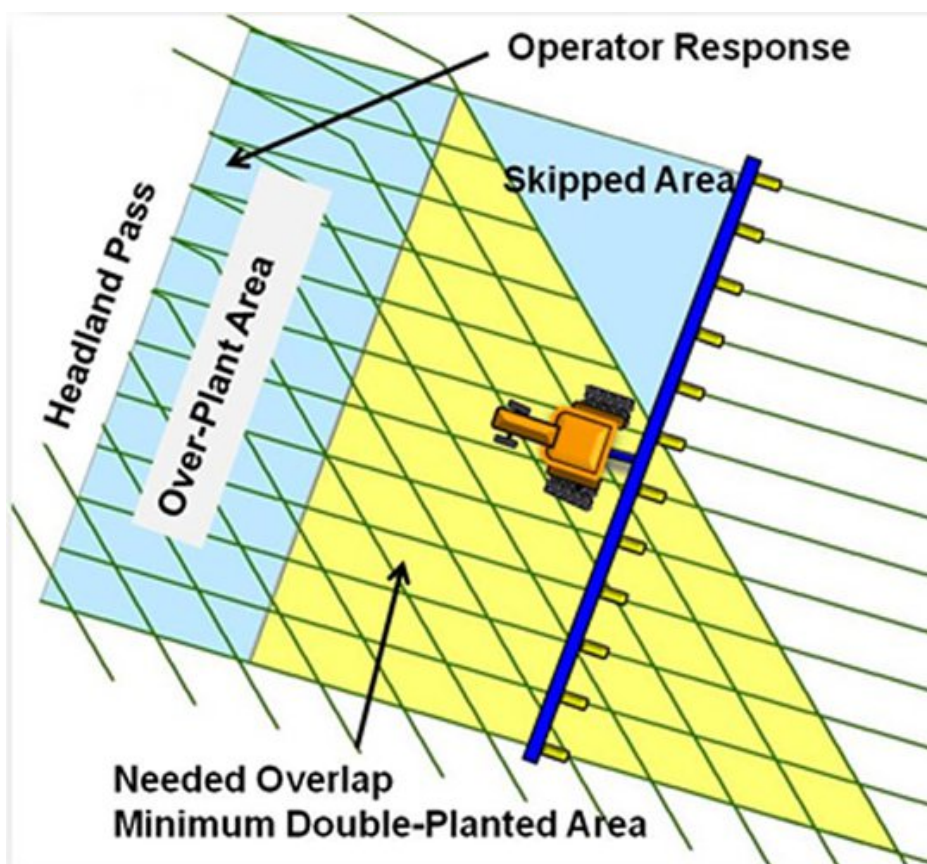


Рис. 1- Ілюстрація ділянки з подвійним посівом

Автоматичне керування секціями (ASC) для сівалок – це технологія, яка може зменшити або усунути подвійний посів, а отже, зменшити витрати на насіння та підвищити врожайність. Технологія ASC для сівалок забезпечує контроль над операціями посіву, вимикаючи секції або рядки сівалки на ділянках поля, які були раніше засіяні, або на ділянках, позначених як зони без посіву.

Технологія використовує поточне місцезнаходження сівалки за даними Глобальної системи позиціонування (GPS) та карти покриття раніше посіяних рослин для керування окремими рядами або секціями рядів сівалок. ASC для сівалок може керуватися пневматично, електрично або гідравлічно та може бути придбана окремо для модернізації старих сівалок або може бути придбана як опція для нових сівалок. Поля в Україні часто мають неправильну форму та менші порівняно з полями в північній або південній Америці (рис.

2). Звичайні операції посіву починаються з одного або двох проходів навколо межі поля, а решта внутрішньої області покривається паралельними проходами. Помилки посіву очевидні під час посіву на краях поля та часто трапляються на невеликих полях неправильної форми. З огляду на неправильні форми та розміри полів в Україні, подвійний посів є поширеним явищем, і тому інвестиції в ASC для сівалок можуть бути вигідними.



Рис. 2 - Аерофотознімки полів зроблені за допомогою Google Earth

Фермерам, які розглядають можливість інвестування в систему ASC для сівалок, необхідно спочатку оцінити площу подвійного посіву у своєму фермерському господарстві та потенційне скорочення витрат на посів і втрат врожайності від зменшення цієї площі. Це дослідження надає інформацію про фактори, що впливають на перекриття в операціях посіву, а отже, на потенційну економію від ASC на сівалках. Конкретні цілі цього дослідження полягають у наступному: (1) визначити потенційну економію від ASC на сівалках; (2) проаналізувати вплив розподілу типів полів на основі площі подвійного посіву, суміші культур (кукурудза, бавовна та соя) та розміру ферми на економію від ASC; та (3) оцінити мінімальний період часу, протягом якого інвестиції в ASC на сівалках повинні бути профінансовані, щоб гарантувати позитивний чистий грошовий потік щороку (тобто економію, що перевищує виплату боргу). В аналізі були використані дані про оціночну площу подвійного посіву, зібрані з 52 сільськогосподарських полів протягом 2024 та 2025 років.

1.2 Аналіз досліджень роботи систем контролю висіву (ASC)

У попередніх дослідженнях оцінювалася технологія ASC для зменшення внесення сільськогосподарських ресурсів. Більшість цих досліджень базувалися на сільськогосподарських обприскувачах, а не на сівалках; однак концепція практично однакова. Коли штанга сільськогосподарського обприскувача перекриває частину поля, яка вже була обприскана, відбувається надмірне внесення чутливих ресурсів для виробництва агрокультур (пестицидів та добрив). Надмірне внесення ресурсів призводить до збільшення виробничих витрат і потенційно може завдати шкоди врожаю та/або навколишньому середовищу. Той самий принцип можна застосувати під час посіву, де в якості ресурсу використовується насіння, а не пестициди чи добрива.

Batte та Ehsani (2006) оцінили прибутковість систем точного наведення та ASC для аплікаторів рідин для шести гіпотетичних полів розміром 40,57 га, кожне з яких має одну з трьох форм (прямокутну, паралелограмну або трапецієподібну) та з двома перешкодами на водних шляхах та без них. Вони виявили, що поля з непрямокутною формою та поля з перешкодами на водних шляхах збільшили цінність потенційної економії матеріалів, палива та часу оператора завдяки точній навігації та технології ASC. Аплікатори з більшими розмірами штанг (тобто шириною смуги поля) також збільшили економію коштів завдяки технології ASC через більший потенціал перекриття. Інші дослідники оцінили, що для виправдання інвестицій у навігацію та технологію ASC необхідний розмір ферми від 486 га до 729 га, залежно від розміру штанги аплікатора. Обмеження їхнього аналізу включають припущення, що всі поля на фермі мають однаковий розмір, розподіл шести форм полів та перешкод на полі однаковий для кожного розміру ферми, а також використання спрощених геометричних моделей форми поля та перешкод, які можуть недооцінювати цінність технології ASC на полях неправильної форми.

Лак та ін. (2010a) порівняли загальну кількість внесених пестицидів на трьох полях, використовуючи ASC з 3, 5 та 30 керованими секціями, а також ручне керування секціями (MSC) з однією контрольною секцією на самохідному обприскувачі з приблизною шириною штанги 25 м. Їхнє дослідження показало, що для трьох полів, використаних у дослідженні, скорочення площ перекриття коливалося від 15,2% до 17,5% для конфігурації з 30 керованими секціями, від 11,2% до 11,5% для конфігурації з п'ятьма керованими секціями та від 8% до 8,5% для конфігурації з трьома керованими секціями порівняно з MSC всієї штанги. У більшому дослідженні 21 поля неправильної форми та різного розміру, загальною площею 578 га, оцінили зменшення перекриття для аплікатора з MSC порівняно з аплікатором з ASC. Вони спостерігали, що скорочення надмірного внесення добрив за допомогою ASC коливалося від 0,6% до 20,7% на 21 полі. У середньому надмірне внесення добрив за допомогою ASC зменшилося з 12,4% до 6,2%. Ступінь перекриття залежав від розміру поля, який варіювався від 3,1 га до 101 га, а також від складності меж поля та перешкод, що вимірювалася співвідношенням периметра поля (м) до загальної площі поля (м²). Вони також виявили, що складність форми поля мала тенденцію до зростання з меншими розмірами поля. Технологія ASC ефективніше зменшувала перекриття порівняно з MSC на менших полях зі складнішими межами поля. Хоча два польові дослідження сприяють нашому розумінню перекриття, вони не оцінювали потенційну прибутковість ASC шляхом порівняння витрат на внески та економії від втрати врожайності з інвестиційними витратами на технологію.

Попередній аналіз технології ASC на сівалках обмежується одним дослідженням, яке оцінювало зменшення площі подвійного посіву внаслідок ASC, використовуючи гіпотетичні розміри, форми поля та умови роботи ферми, а не польові дані. Шоклі та ін. (2012) оцінили прибутковість технології ASC для сівалок, використовуючи чотири загальні файли форми меж поля як приклади для оцінки зниження вартості насіння завдяки ASC. Площа

перекриття була оцінена за допомогою інструменту для аналізу покриття поля (FieldCAT), програмного пакета, здатного оцінити кількість внесення поза цільовим показником, яке виникне в результаті роботи широкосмугових машин на полях неправильної форми з різною орієнтацією траєкторії. Форма та розмір поля були ключовими змінними, що впливають на прибутковість інвестицій в автоматичне керування секціями для сівалок. Вони дійшли висновку, що відносно менші поля (тобто 3-4 га на відміну від полів 40 та 100 га) мають більший потенціал для прибутковості при впровадженні ASC на сівалках. Вони також зазначили, що форма поля була менш важливою при визначенні прибутковості технології ASC зі збільшенням розміру поля. Хоча це дослідження надає цінну економічну інформацію щодо технології ASC, моделювання площі перекриття в цьому дослідженні базувалося на припущеннях, а не на польових даних. Нам невідомі опубліковані дослідження, що повідомляють про польові дані для площі з подвійним посівом.

РОЗДІЛ 2. ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Збір польових даних

Протягом вегетаційних сезонів 2024 та 2025 років геоприв'язані дані про посадку були зібрані з 52 сільськогосподарських полів загальною площею приблизно 700 га. Зразки полів були надані вісьмома виробниками, які не використовували системи ASC на сівалках у різних місцях у центральних та північних регіонах. Дані про посадку з використанням кінематичної системи реального часу (RTK) GPS були зібрані за допомогою системи збору даних, встановленої на сівалки виробника в кожному місці. Система збору даних складалася з монітора з вбудованим GPS-приймачем (система Trimble EZ-Guide 500), GPS-антени (антена Trimble AgGPS 25), мосту RTK (стільниковий модем Intuicom RTK Bridge), нетбука з програмою реєстрації даних та різних перемикачів обладнання залежно від виробника сівалки, що використовувалася в кожному місці. Корекції диференціалу в реальному часі були забезпечені мережею віртуальної опорної станції.

Програма реєстрації даних записувала стандартний рядок даних глобального позиціонування GGA NMEA (Національна асоціація морської електроніки) з додатковим стовпцем, що записує стан сівалки (тобто, чи сіває вона чи ні) разом з даними про позицію (тобто, широтою та довготою) зі швидкістю 0,1 Гц. Похибки покриття обладнання на базі GPS, пов'язані з топографією поля, не враховувалися, оскільки, згідно з висновками Стомбо та ін. (2007), топографія має незначний вплив на покриття обладнання на базі GPS. Операції сівби контролювалися без втручання у звичайні режими сівби виробника. Усі поля були засіяні приблизно однаковою шириною сівалки (від 11,6 до 12,2 м), а орієнтація шляху визначалася фермером. Найпоширенішим шляхом орієнтації, який використовували фермери, був той, що визначав найдовший прохід. Перемикач обладнання був встановлений на окремому блоці сівалки для індикації стану сівалки. Миттєві перемикачі замикали ланцюг, коли сівалки опускалися (тобто сівали), або розмикали ланцюг, коли

сівалки піднімалися (тобто не сівали). Трансформація даних та оцінка площі подвійного посіву

Географічно прив'язані дані посіву були імпортовані в програмне забезпечення ArcMap (Arc-GIS v9.3. ESRI) для перетворення географічних координат WGS 1984 у проєкцію Універсального поперечного Меркатора (UTM). Файли CSV були імпортовані у файл ArcView, щоб дозволити редагування даних GPS. Точки даних GPS були зміщені в ArcGIS, щоб змістити відстань між розташуванням антени GPS та насінневою трубкою сівалки, оснащеною перемикачем стану посіву. Ця відстань зміщення була визначена під час встановлення обладнання в полі. Точки були зміщені в ArcGIS шляхом вибору точок на основі напрямку руху та вимірної відстані зміщення, а також корекції атрибута стану сівалки для кожної точки на відповідне значення. Точки даних були класифіковані на основі стану сівалки, причому зелені точки символізували, що сівалка була опущена та висіває, а червоні точки символізували, що сівалка була піднята під час повороту або перетину зон без посіву (рис. 3).

Після того, як точки даних були класифіковані, був створений новий шейп-файл поліліній, щоб символізувати центральну лінію трактора та сівалки під час їхнього руху по полю. Центральні лінії були створені в ArcGIS (ArcGIS v9.3, ESRI) шляхом накладання точок даних посіву лінією.

З кожного боку нових центральних ліній межі посіву були зміщені на половину ширини одного проходу машини. Площа між цими межами посіву представляла площу посіву, яка знаходилася в межах кожного проходу сівалки по полю. Щоб точно відобразити мінімальну площу подвійного посіву в кожному полі, полігони були вручну намальовані над усіма лініями проходу посіву, які перекривалися (рис. 4). Полігони були намальовані таким чином, щоб подвійний посів в крайніх рядах був мінімальним, шляхом проведення перпендикулярної лінії від місця, де відстаючий край сівалки перетинав крайній ряд, до місця, де передній край сівалки пройшов відносно крайнього ряду (рис. 4).

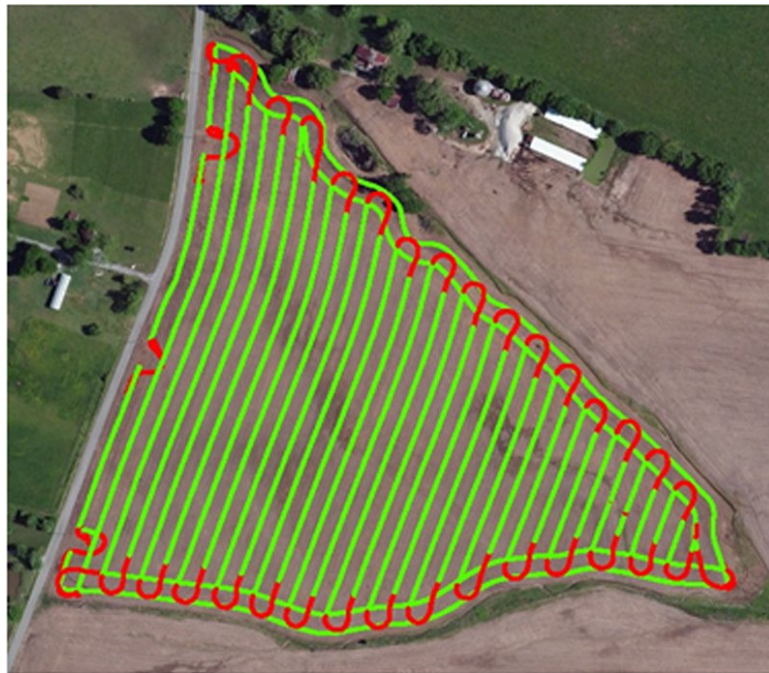


Рис. 3- Дані CPS, імпортовані в ArcGIS, що показують диференціацію статусу сівалок

Площі полігонів були розраховані за допомогою функції обчислення геометрії в ArcGIS (ArcGIS v9.3. ESRI). Оцінки площі в кожному полігоні (га) були підсумовані, щоб отримати загальну площу мінімального подвійного посіву в кожному полі. Shapefile полігону був вручну намальований навколо крайніх ліній меж сівалки для представлення межі засіяної площі.

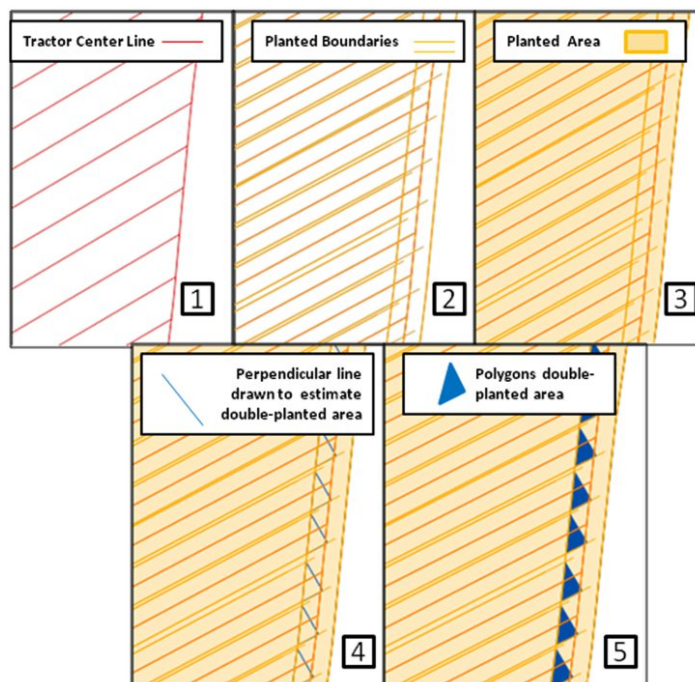


Рис. 4 - Ручна оцінка площ подвійного висіву покроково

Ця гранична площа була використана для розрахунку загальної площі рослин (га) та периметра засіяної площі (м) для кожного поля. Площа, що займала периметр рослин (м), була поділена на площу рослин (м²) для оцінки співвідношення периметра до площі (P/A) (м¹). Співвідношення периметра до площі було використано для визначення відмінностей у формі поля. Загальна площа подвійного посіву була поділена на площу рослин для кожного поля, що призвело до розрахункового відсотка мінімальної площі подвійного посіву. Хоча площа подвійного посіву є функцією ширини сівалки, цей фактор не враховується в цьому аналізі, оскільки приблизно однакова ширина сівалки (11,6-12,2 м) використовувалася на всіх полях, що розглядалися в цьому дослідженні. Зведена інформація про площу рослин, площу подвійного висіву, відсоток площі подвійного висіву та співвідношення периметра до площі для кожного поля з використанням ручної процедури представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 - Зведена інформація про характеристики вибіркового поля

Поле	Площа посівів (га)	Двічі засіяна площа (га)	Відсоток двічі засіяної площі	Співвідношення периметра до площі (P/P)
1	26,91	0,04	0,15	0,01
2	42,74	0,04	0,09	0,01
3	32,34	0,04	0,13	0,01
4	31,36	0,08	0,26	0,01
5	28,9	0,08	0,28	0,01
6	6,35	0,04	0,64	0,02
7	42,86	0,2	0,47	0,01
8	8,86	0,04	0,46	0,01
9	28,09	0,16	0,58	0,01
10	35,94	0,28	0,79	0,01
11	7,37	0,08	1,1	0,02
12	3,32	0,04	1,22	0,03
13	13,92	0,16	1,16	0,02
14	16,39	0,24	1,48	0,01
15	9,19	0,16	1,76	0,02
16	10,68	0,2	1,89	0,01
17	12,91	0,28	2,19	0,01
18	9,11	0,2	2,22	0,01
19	11,25	0,24	2,16	0,01

20	8,26	0,2	2,45	0,01
21	15,22	0,36	2,39	0,01
22	9,63	0,24	2,52	0,01
23	12,95	0,32	2,5	0,01
24	13,07	0,32	2,48	0,01
25	12,26	0,36	2,97	0,01
26	23,8	0,73	3,06	0,02
27	6,64	0,2	3,05	0,02
28	8,13	0,24	2,99	0,02
29	12,99	0,4	3,12	0,02
30	9,51	0,32	3,4	0,02
31	10,52	0,36	3,46	0,01
32	6,6	0,24	3,68	0,02
33	18,17	0,77	4,23	0,02
34	9,47	0,4	4,27	0,02
35	3,76	0,16	4,3	0,02
36	3,4	0,16	4,76	0,04
37	2,67	0,12	4,55	0,04
38	6,43	0,45	6,92	0,03
39	17,12	1,42	8,27	0,01
40	13,07	1,13	8,67	0,02
41	17,2	1,5	8,71	0,02
42	9,75	0,89	9,13	0,02
43	1,66	0,16	9,76	0,04
44	3,68	0,32	8,79	0,03
45	10,89	1,01	9,29	0,03
46	8,3	0,85	10,24	0,02
47	0,77	0,08	10,53	0,05
48	12,95	1,46	11,25	0,03
49	14,69	1,94	13,22	0,03
50	7,61	1,05	13,83	0,03
51	1,42	0,2	14,29	0,04
52	6,76	1,05	15,57	0,04
Середнє	13,42	0,42	4,57	0,02
Стандартне відхилення	10,10	0,45	4,24	0,01

У цьому дослідженні оцінки відсотка площі подвійного посіву, отримані за допомогою вищезгаданої ручної процедури, порівнювалися з оцінками відсотка площі подвійного посіву, отриманої за допомогою FieldCAT на підвибірці з 25 полів. Обчислювальний метод оцінки площ внесення поза цільовим показником, що використовується у FieldCAT, зосереджується лише

на перекритті, що утворюється смугами, що перетинають миси під непрямыми кутами.

Процес класифікації, який використовується FieldCAT для оцінки площі перекриття, подібний до того, що розроблений у цьому дослідженні. FieldCAT будує серію паралельних ліній з певною орієнтацією, розділених шириною машини або секції. Потім проводяться лінії, ортогональні до паралельних ліній. Перетин двох послідовних ортогональних ліній з паралельними лініями, що визначають ширину машини або секції, утворює прямокутник, який визначає області перекриття, області, де внесення вхідних даних було марним, або області з одноразовим внесенням.

Поля, що склалися з кількох нез'єднувальних полігонів, були розділені на кілька окремих полів для використання FieldCAT, що призвело до загальної кількості 27 полів. Параметри FieldCAT були скориговані для імітації такої ж ширини сівалки та орієнтації шляху, що й фермери в цьому дослідженні. Поля були використані для класифікації полів на три категорії перекриття посівів: (1) поля з низькою площею подвійного посіву (<2% від загальної площі посівів); (2) поля з помірною площею подвійного посіву (2-5% від загальної площі посівів); та (3) поля з високою площею подвійного посіву (>5% від загальної площі посівів).

Порогові значення для кожної категорії полів були визначені таким чином, щоб розподіл відсотка площі подвійного посіву та розподіл інших факторів геометрії поля (тобто площі поля та співвідношення периметра до площі) для полів, включених до кожної категорії, статистично значуще відрізнялися від розподілу цих самих змінних для інших категорій. Різниця у відсотку площі подвійного посіву, площі посівів та співвідношенні П/П для кожної категорії були оцінені за допомогою рангового тесту Вілкоксона. Середній відсоток площі подвійного посіву для кожної категорії був оцінений та використаний в економічному аналізі для оцінки економії, пов'язаної зі зменшенням площі подвійного посіву за допомогою ASC для сівалок.

Аналітична основа для оцінки економії від автоматичного керування секціями на сівалках

Загальну економію від технології ASC на сівалках було визначено з використанням зниження витрат завдяки економії насіння та збільшення доходів від зменшення втрат врожайності, пов'язаних з площами подвійного посіву.

Для визначення зміни витрат і доходів, пов'язаних зі зменшенням або усуненням перекриття сівалок внаслідок використання системи ASC на сівалках, а отже, потенційної економії, пов'язаної з цією технологією, було використано граничний підхід, який використовує метод часткового бюджетування. Для оцінки зміни витрат і доходів, пов'язаних зі зменшенням або усуненням площі подвійного посіву, було застосовано наступне рівняння:

$$\Delta REV_j = a_j(p_j \Delta y_j + \Delta sc_j) \sum_{k=1}^3 \omega_k \mu_k, \quad (1)$$

де ΔREV_j - зміна чистого доходу (\$/га) для агрокультур (j = соняшник, кукурудза або соя), a_j - посівна площа (га) культури j , ω_k - відсоток ($0 \leq \omega_k \leq 1$) полів у категорії площі з подвійним посівом k ($k = 1$ (низький), 2 (середній), та 3 (високий)), μ_k - відсоток ($0 \leq \mu_k \leq 1$) площі подвійного посіву для категорії перекриття посіву k , p_j - ціна на кожну j -ту культуру, Δy_j приріст врожайності (кг/га) завдяки зменшенню площі подвійного посіву, та Δsc_j - зменшення вартості насіння (\$/га) завдяки зменшенню перекриття посіву.

Використовуючи рівняння (1), оцінили розрахункову економію від зменшення площі подвійного посіву внаслідок використання ASC для трьох сценаріїв поєднання культур: (1) сонях, (2) сонях та кукурудза, та (3) кукурудза та соя. Для сценаріїв, де одна й та сама сівалка використовувалася для посіву більш ніж однієї культури, загальну економію оцінювали як суму розрахункової економії від використання ASC для кожної культури. Припускалося, що для всіх посадкових операцій використовувалася одна й та сама 12-рядна сівалка (шириною 11,6 м). Ми припустили міжрядну відстань

сівалки 97 см для сценаріїв «сонях» та «сонях та кукурудза», а міжрядну відстань — 76 см для сценарію «кукурудза та соя». Крім того, припускалося, що кількість висіваного насіння подвоюється на ділянках, що перекриваються.

Втрати врожайності, пов'язані з подвійним посівом, вважалися 5% для соняшнику та кукурудзи та 0% для сої. Соя – це унікальна культура, яка має компенсуючу здатність виробляти однакову кількість маси насіння на одиницю площі незалежно від щільності посадки. Іншими словами, рослини сої, що ростуть в умовах високої щільності, наприклад, ті, що ростуть на ділянках з подвійною посадкою, вироблятимуть менше ворсу на рослину, щоб компенсувати додаткові рослини поблизу. Однак, оскільки популяції рослин у цих зонах подвоюються, загальна врожайність, як було показано, еквівалентна рослинам, що ростуть з половинною щільністю популяції. Теоретично це не було б проблемою, якби всі коробочки в цих зонах можна було ефективно зібрати за допомогою механічного збирача.

Однак на практиці збирачі повинні працювати в рамках рядів посадки, тоді як на ділянках з подвійною посадкою ряди перетинаються. Через ефективну ширину збиральних отворів окремих жолобів збирача, деякі рослини бавовни в цих рядах, що перетинаються, будуть пропущені та, можливо, будуть переміщені під час збирання в крайніх рядах, що призведе до того, що повалений урожай буде недоступний для збору. Натомість, збільшення норм висіву кукурудзи може збільшити врожайність до точки зменшення віддачі, коли врожайність починає знижуватися через конкуренцію рослин за поживні речовини та сонячне світло. Подібно до сої, якби всі качани кукурудзи на ділянках з подвійним посівом можна було ефективно зібрати, зниження врожайності через фізіологічні обмеження рослин кукурудзи не було б фактором. Однак, через обмеження методології збору врожаю, що використовуються жатками для кукурудзи, кукурудзу необхідно збирати відповідно до посаджених рядів. Це призводить до такої ж ситуації, як описано вище, з поваленим, незібраним урожаєм бавовни на ділянках з подвійним

посівом. Не було жодних доказів, що підтверджують гіпотезу про те, що подвійний посів впливає на врожайність сої.

Зміни чистої прибутковості, пов'язаної з подвійним посівом, оцінені за рівнянням (1), вважаються еквівалентними економії від впровадження системи ASC для сівалок. Для оцінки економії від використання ASC на сівалках у сільськогосподарських підприємствах було використано дані про врожайність, витрати та ціни з бюджетів сільськогосподарських культур за 2025 рік.

2.2 Аналіз інвестицій в ASC

Нові капіталовкладення, такі як придбання ASC для сівалок, можуть мати значний вплив на грошові потоки, особливо якщо для фінансування покупки позичаються додаткові ресурси. Позиковий капітал включає виплати основної суми та відсотків, що тягне за собою нові відтоки грошових коштів. Ми оцінимо початкові капіталовкладення в ASC та їх вплив на грошові потоки протягом певного періоду часу. Враховуючи відносно короткий період часу, протягом якого фермери зазвичай зберігають сівалки, перш ніж продати їх, інформація про час, необхідний для повернення інвестицій в ASC на сівалки, може бути важливою. Ми припустили, що надходження грошових коштів пов'язані з економією від ASC на сівалках, а відтік грошових коштів пов'язаний з виплатами боргів.

Ми розглядали лише сценарій, коли надходження грошових коштів перевищують відтік грошових коштів або чисті грошові потоки є позитивними щороку. Наявність позитивних чистих грошових потоків може бути актуальною для позик, які необхідно погасити за відносно короткий період часу. Використовуючи цю інформацію, ми оцінили мінімальний період часу, протягом якого інвестиції в систему ASC на сівалках повинні бути профінансовані, щоб гарантувати позитивний чистий грошовий потік щороку. Хоча сільськогосподарське підприємство може дозволити собі негативний чистий грошовий потік протягом перших кількох років, враховуючи, що ці

втрати можуть бути покриті іншими частинами сільськогосподарського бізнесу, які генерують достатньо надлишкових грошових коштів, ми хотіли дотримуватися логіки часткового аналізу, який розглядає лише ту частину сільськогосподарського бізнесу, яка пов'язана з інвестиціями в технологію ASC на сівалках.

2.3 Вартість ASC на сівалках

Встановлення ASC на існуючій сівалці вимагає модернізації сівалки дисплеєм або віртуальним терміналом, GPS/GNSS-приймачем, контролером та програмним забезпеченням, здатним керувати секцією або рядами сівалки сплати коштів за активацію керування секціями. Загальна вартість цих компонентів оцінювалася в 16 464 долари США на основі інформації, зібраної від дилерських центрів від різних виробників. Інформацію про вартість кожного компонента було усереднено, щоб отримати середню вартість усіх компонентів, пов'язаних із системою ASC для сівалок. Деякі компоненти цієї технології також необхідні для інших технологій (наприклад, автокерування, ASC на обприскувачах); лише муфти рядків, контролер та програмне забезпечення, здатні керувати секцією або рядами сівалки, використовуються системою ASC на сівалках.

Хоча переваги, пов'язані з іншими системами, що використовують деякі компоненти, можуть допомогти окупити ці інвестиції, передбачається, що всі витрати пов'язані з ASC на сівалках, щоб дати консервативну оцінку мінімального терміну окупності. Було зроблено припущення, що інвестиції у розмірі 16 464 доларів США були профінансовані за рахунок позики під 6% річних, яка має виплачуватися протягом фіксованої кількості років з рівними щорічними платежами за основною сумою плюс відсотки. Ми припускали, що економія від ASC на сівалках буде постійною з часом, а вартість насіння щорічно зростатиме з передбачуваним рівнем інфляції 3%.

2.4 Інвестиційні сценарії

Інвестиційні сценарії були оцінені з використанням різних комбінацій культур, розмірів ферм та розподілу типів полів на основі відсотка площі подвійного посіву. Для комбінацій «кукурудза та соя» та «кукурудза та соя» площі були розподілені порівну між двома культурами. Наприклад, якщо розмір ферми становив 400 га, то передбачалося, що 200 га будуть засіяні кукурудзою, а 200 га – соєю, використовуючи одну й ту ж сівалку. Для кожного з цих сценаріїв вирощування культур було досліджено кілька розмірів ферм та розподіл типів полів на основі відсотка комбінацій площ з подвійним посівом. Розміри ферм 400, 600 та 800 га були оцінені, щоб визначити, чи вплине можливість розподілити інвестиції в ASC на більшу кількість гектарів суттєво на мінімальну кількість років окупності інвестицій з позитивним чистим грошовим потоком щороку.

Для кожного розміру ферми також було оцінено три розподіли вартості полів з подвійним посівом. Як було описано раніше, поля були визначені як поля з низькою, середньою або високою площею подвійного посіву на основі відсотка поля, яке було засіяне подвійним посівом. Розподіл полів, оцінених у цьому аналізі, був таким: (I) більшість полів є полями з низькою площею подвійного посіву (тобто 60% у полях з низькою площею, 25% у полях з середньою та 15% у полях з високою площею подвійного посіву, 60% - 25% - 15%); (II) поля з низькою, помірною та високою площею подвійного посіву розподілені рівномірно (тобто 30% у полях з низькою площею, 40% у полях з помірною та 30% у полях з високою площею подвійного посіву, 30%-40%-30%); та (III) більшість полів мають високу площу подвійного посіву (тобто 15% на полях з низьким рівнем, 25% на помірному та 60% на полях з високим рівнем подвійного посіву, 15% - 25% - 60%). Третій сценарій був розроблений після представлення аналізу дорадникам та деяким виробникам та запиту про розподіл полів, який найкраще представляє ферму з просапних культур у регіоні. На основі цього сценарію було створено два додаткові сценарії для порівняння.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Порівняння оцінки площі подвійного посіву за допомогою FieldCAT

Порівняння оціненої площі перекриття за допомогою ручної процедури та FieldCAT наведено в таблиці 2. Розмір полів коливається від 1 до 31 га у вибірці з 27 полів (25 полів з двома полями, розділеними для полегшення оцінки за допомогою FieldCAT). Оцінена площа подвійного посіву в середньому становила 6,1% та 6,5% від загальної площі посівів для ручної процедури та FieldCAT відповідно. Різниця в оціненому відсотку площі подвійного посіву коливалася від 0,4 до 6,9 відсоткових пунктів. Розбіжності в оціненому відсотку площі подвійного посіву можна пояснити тим, що відхилення фермерів від бажаного шляху на поворотних смугах, через повороти та ближче до кінця рядів фіксувалися ручним методом, тоді як FiledCAT не враховував ці бічні відхилення.

Таблиця 2 - Оцінка відсотка площі подвійного посіву за допомогою FieldCAT

Поле	Площа, га	Відсоток площі подвійного посіву (ППП)	Відсоток площі подвійного посіву визначений FieldCAT (ППП FieldCAT)	Різниця (ППП-ППП FieldCAT)
44	3,68	8,79	8,42	0,37
41	17,2	8,71	8,26	0,45
28	8,13	2,99	3,57	-0,58
17	12,91	2,19	2,87	-0,68
31	10,52	3,46	4,18	-0,72
19	11,25	2,16	2,93	-0,77
4	31,36	0,26	1,05	-0,79
48	12,95	11,25	12,12	-0,87
45	10,89	9,29	10,38	-1,09

46	8,3	10,24	8,92	1,32
42	9,75	9,13	7,79	1,34
27	6,64	3,05	4,52	-1,47
29	12,99	3,12	4,7	-1,58
22	9,63	2,52	4,15	-1,63
24	13,07	2,48	4,21	-1,73
16	10,68	1,89	3,84	-1,95
52	6,76	15,57	13,61	1,96
39a	15,41	7,7	5,71	1,99
35	3,76	4,3	6,38	-2,08
33b	12,86	1,39	3,73	-2,34
39b	1,69	12,91	10,03	2,88
33a	5,32	11,36	8,46	2,9
13	13,92	1,16	4,6	-3,44
40	13,07	8,67	4,48	4,19
21	15,22	2,39	8,54	-6,15
51	1,42	14,29	7,77	6,52
26	23,8	3,06	9,96	-6,9
Середнє	11,23	6,09	6,49	-0,40
Стандартне відхилення	6,38	4,53	3,14	2,84

Крім того, у деяких зібраних даних неочікувані маневри під час посадки, які призвели до додаткової перекриваючої площі, були фіксовані за допомогою ручної процедури, тоді як Field-CAT не фіксував ці площі (Zandonadi et al., 2011). Зрештою, знайти точний кут, що визначає орієнтацію шляху, який використовував фермер на кожному полі, іноді було складно у FieldCAT. Зміни на один або два градуси орієнтації шляху призводили до змін оціненої площі подвійного посіву на 2% або більше за допомогою FieldCAT.

Ступінь кореляції між оцінками площі подвійного посіву для двох методів становив 0,78 і був статистично значущим на рівні 1%. Нульова гіпотеза для рангового тесту Вілкоксона полягала в тому, що розподіл площ подвійного посіву, оцінений за допомогою ручної процедури та FieldCAT, був однаковим. Відхилення нульової гіпотези означає, що площа подвійного посіву, оцінена одним із методів, систематично вища (нижча) порівняно з альтернативним методом. Результати цього тесту (p -значення = 0,28) свідчать

про те, що площа подвійного посіву, отримана за допомогою двох методів, систематично не відрізняється одна від одної. Хоча ручний метод, використаний у цьому дослідженні, не є ефективним з точки зору часу, його можна повторити для оцінки відсотка площі подвійного посіву на інших полях. FieldCAT – це практичний та ефективний з точки зору часу метод кількісної оцінки площ внесення нецільових ресурсів на сільськогосподарських полях. Тим не менш, використання ручного методу в цьому дослідженні, здається, краще відображає посівні операції, що використовуються фермерами в цьому дослідженні.

3.2. Описова статистика для полів з низькою, помірною та високою площею подвійного посіву

Середня площа подвійного посіву для полів з низькою, помірною та високою площею подвійного посіву становила 0,8%, 3,2% та 10,5% від загальної площі посіву відповідно. Стандартні відхилення для цих оцінок становили 0,6%, 0,8% та 2,5% для полів з низькою, помірною та високою площею подвійного посіву відповідно. Загалом, мінливість у відсотковому співвідношенні площі подвійних посівів для всіх категорій була низькою, але, здається, вона вища для полів у категорії з високою площею подвійних посівів. Середні розміри полів становили 22, 10 та 9 га зі стандартними відхиленнями 13, 5 та 5,5 га для полів з низькою, помірною та високою площею подвійних посівів відповідно. Нарешті, середнє співвідношення П/П становило 0,01, 0,02 та 0,03 м/м² для полів з низькою, помірною та високою площею подвійних посівів відповідно.

Порівняння співвідношень P/A між категоріями полів допомогло визначити характеристики форми, пов'язані з різними рівнями площі подвійного посіву. Наприклад, на рис. 5 показано перезасіяні ділянки на двох полях подібного розміру, але різних категоріях площі подвійного посіву: одне в категорії з низьким подвійним посівом, а одне в категорії з високим подвійним посівом. Площа подвійного посіву становила 1,2% та 9% від

загальної площі поля для полів з низьким подвійним посівом та високим подвійним посівом на рис. 5 відповідно. Поле в категорії полів з низькою площею подвійних рослин мало нижчий коефіцієнт П/П (0,016), ніж поле в категорії з високою площею подвійних посівів (0,022). Цей приклад ілюструє збільшення перекриття зі збільшенням нерівномірності форми поля.

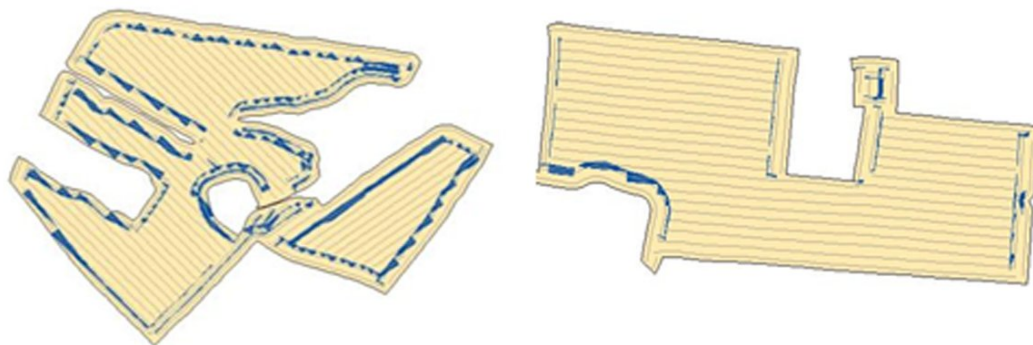


Рис. 5 - При використанні 12-рядної сівалки поле площею 17 га з високим подвійним посівом (ліворуч) вимагає 69 проходів (загальна площа подвійного посіву становить 1,5 га або 9%, а співвідношення Р/А становить 0,022), тоді як поле площею 14 га з низьким подвійним посівом (праворуч) вимагає 34 проходів (загальна площа подвійного посіву становить 0,16 га або 1,2%, а співвідношення Р/А становить 0,016).

Нульова гіпотеза для рангового тесту Вілкоксона полягала в тому, що площа подвійних рослин, розмір поля та коефіцієнт П/П для всіх категорій типів полів мають однаковий розподіл. Відхилення нульової гіпотези при порівнянні двох категорій типів полів (наприклад, категорії з низькою площею подвійних рослин та високою площею подвійних рослин) означало, що значення для кожної характеристики, оціненої для однієї категорії, систематично вищі (нижчі) порівняно зі значеннями для альтернативної категорії для тієї ж характеристики. Площа подвійних посівів, розмір поля та коефіцієнт П/П були систематично вищими для полів з високою та помірною площею подвійних рослин порівняно з полями з низькою площею подвійних рослин (тобто р-значення $<1\%$). Площа подвійного посіву та співвідношення П/П були систематично вищими для полів з високою площею подвійного посіву, ніж для полів з помірною площею подвійного посіву. Не було виявлено

жодних ознак різниці в розмірі поля між полями з високою та помірною площею подвійного посіву (р-значення = 0,45). Ці результати свідчать про те, що більші та більш прямокутні поля загалом мали меншу площу подвійного посіву порівняно з меншими та більш неправильної форми полями, як показано в попередніх дослідженнях.

3.3 Економія від ASC на сівалках

У таблиці 3 представлено середнє значення та стандартне відхилення економії (зниження витрат на насіння та збільшення врожайності) від ASC на сівалках залежно від типу поля. Потенційна економія для кукурудзяних та соняшникових полів становила близько 3 \$/га для низьких, 11 \$/га для середніх та від 36 \$/га до 38 \$/га для полів з високою площею подвійного посіву. Для сої потенційна економія від ASC на сівалках була нижчою для всіх типів полів порівняно з соняшником та кукурудзою.

Таблиця 3 – Економія від впровадження ASC залежно від типу поля та культури

Тип поля	Середня економія від впровадження ASC (USD/га)		
	Соняшник	Кукурудза	Соя
Низька частка подвійного висіву	2,9	2,7	1,2
	(2,1)	(2,0)	(0,8)
Середня частка подвійного висіву	11,6	10,9	4,7
	(2,9)	(2,8)	(1,2)
Висока частка подвійного висіву	38,1	35,6	15,1
	(9,1)	(8,5)	(3-6)

Вартість насіння сої (143 \$/га) була нижчою, ніж вартість насіння кукурудзи (237 \$/га) та соняшнику (274 \$/га). Крім того, потенційне збільшення врожайності, пов'язане зі зменшенням площі подвійного посіву, вважалось нульовим для сої, оскільки не було інформації, яка б підтверджувала конкуренцію рослин або зниження ефективності збору

врожаю через перекриття площі посіву для цієї культури. Мінливість економії, виміряна стандартним відхиленням, виявилася вищою для полів у категорії з високою площею подвійного посіву.

Економія від ASC на сівалках також залежить від відсотка полів у кожній категорії типу поля. У таблиці 4 представлено середню економію (\$/га) та її стандартне відхилення через зменшення площі подвійного посіву для різних розподілів типу поля. Результати свідчать про те, що розподіл типу поля на фермі впливає на потенційну економію від ASC на сівалках. Зі збільшенням відсотка полів на фермі в категорії з високою площею подвійного посіву економія від ASC також зростала, як і мінливість економії, виміряна стандартним відхиленням.

Таблиця 4 – Економія від впровадження ASC на сівалках залежно від розподілу типів полів

Тип поля	Середня економія від впровадження ASC (дол. США/га)		
	Соняшник	Кукурудза	Соя
60%-25%- 15%	10,4	9,7	4,1
	(2,0)	(1,9)	(0,8)
30% - 40% - 30%	16,9	15,8	6,7
	(3,0)	(2-9)	(1,4)
15%-25%-60%	26,2	24,4	10,3
	(5,5)	(5,2)	(2,1)

3.4 Аналіз інвестиційних сценаріїв з використанням бюджетів грошових потоків

У таблиці 5 наведено приклад аналізу грошових потоків з інвестиціями в ASC на сівалках для соняшникової ферми площею 600 га, де 15% полів знаходяться в категорії з високим подвійним посівом, 25% - в категорії з помірним подвійним посівом та 60% - в категорії з низьким подвійним посівом. Цей аналіз показує річну економію або надходження грошових

коштів від цих інвестицій у розмірі 6211 доларів США з поступовим збільшенням на 3% щороку через зростання вартості насіння після першого року. Витрати грошових коштів включають платежі за позицію в розмірі 16 464 доларів США, фінансованою під 6% річних, що виплачується протягом фіксованої кількості років з рівними річними платежами за основною сумою плюс відсотки. Згідно з цим аналізом, для фермерського господарства з описаними вище характеристиками, знадобиться щонайменше 4 роки, щоб окупити інвестиції та підтримувати позитивний чистий грошовий потік щороку. Будь-який інший сценарій, що розглядає менше 4 років, призведе до негативного чистого грошового потоку, принаймні протягом першого року.

Таблиця 5 – Аналіз грошових потоків для системи ASC на інвестиції в сівалки для агропідприємства площею 600 га посівів соняшника з розподілом типів полів 60% - 25% - 15%

Рік	Заощадження грошових коштів від ASC	Витрати на обслуговування боргу	Чистий грошовий потік
1	6211	5103,7	1107,0
2	6379	4856,7	1522,4
3	6554	4609,8	1944,0
4	6735	4362,8	2371,8

Сценарії, представлені в таблицях 6-8, свідчать про те, що розмір ферми вплинув на мінімальну кількість років окупності інвестицій у систему ASC для сівалок з позитивним чистим грошовим потоком щороку.

Зі збільшенням розміру агропідприємства економія від ASC на сівалках збільшувалася, а кількість років окупності інвестицій з позитивним чистим грошовим потоком щороку загалом зменшувалася, незалежно від розподілу типів полів та культур. Тому підприємства з більшими розмірами, як правило, повинні очікувати швидшої окупності своїх інвестицій в ASC, ніж ті, хто обробляє меншу площу. Окрім розміру фермерського господарства, розподіл полів з низькою, середньою та високою площею подвійного висіву також

впливає на економію від ASC на сівалках та мінімальну кількість років окупності інвестицій, щоб чистий грошовий потік був позитивним щороку.

Таблиця 6 - Річна економія від ASC на сівалках та мінімальна кількість років окупності інвестицій з річним надходженням грошових коштів, що перевищує відтік, за розміром агропідприємства та розподілом типів полів для соняшнику

Розмір підприємства, га	Розподіл подвійно засіяних полів (низький - помірний - високий)		
	60%-25% - 15%	30% -40%-30%	15%-25%-60%
	Річна економія/(роки для окупності інвестицій)		
400	4138 (6)	6768 (3)	10,464 (2)
600	6211 (4)	10,159 (2)	15,706 (2)
800	8279 (3)	13,543 (2)	20,938 (1)

Таблиця 7 - Річна економія від ASC на сівалках та мінімальна кількість років окупності інвестицій з річним надходженням грошових коштів, що перевищує відтік грошових коштів, за розміром агропідприємства та розподілом типів полів для комбінації кукурудзи та сої

Розмір підприємства, га	Розподіл подвійно засіяних полів (низький - помірний - високий)		
	60%-25% - 15%	30% -40%-30%	15%-25%-60%
	Річна економія/(роки для окупності інвестицій)		
400	2746 (10)	4491 (5)	6943 (3)
600	4118 (6)	6737 (3)	10,415 (2)
800	5491 (4)	8982 (3)	13,887 (2)

Результати показують, що зі збільшенням площі посівів у категорії з високим (низьким) подвійним посівом потенційна економія від використання ASC на сівалках також збільшувалася (зменшувалася) незалежно від розміру

ферми та культури. Крім того, кількість років окупності інвестицій зменшувалася зі збільшенням площі посівів у категорії з високим подвійним посівом. Отже, фермери з більшою кількістю полів у категорії з високим подвійним посівом, які мали менші та більш неправильної форми поля, як правило, повинні очікувати швидшої окупності своїх інвестицій в ASC.

Таблиця 8 – Щорічна економія від ASC на сівалках та мінімальна кількість років для окупності інвестицій з річними надходженнями грошових коштів, що перевищують відтоки грошових коштів, за розміром агропідприємства та розподілом типів полів для комбінації кукурудзи та соняшнику

Розмір підприємства, га	Розподіл подвійно засіяних полів (низький - помірний - високий)		
	60%-25% - 15%	30% -40%-30%	15%-25%-60%
	Річна економія/(роки для окупності інвестицій)		
400	3999 (6)	6542 (3)	10,114 (2)
600	5999 (4)	9813 (2)	15,171 (2)
800	7999 (3)	13,083 (2)	20,227 (1)

З результатів цього аналізу зрозуміло, що як розмір ферми, так і розподіл типів полів впливають на рішення фермерів інвестувати в ASC для сівалок. Однак важко сказати, чи мав розмір ферми більший вплив, ніж розподіл типів полів, на мінімальну кількість років окупності інвестицій в ASC для сівалок, які мають позитивний чистий грошовий потік щороку.

Результати цього аналізу можна використовувати для виявлення відмінностей між усіма сценаріями комбінацій культур. Сценарії «соняшник» та «кукурудза та соняшник» вимагали однакової кількості років для окупності інвестицій з позитивним чистим грошовим потоком для всіх розмірів ферм та розподілу типів полів з подвійним посівом, оцінених у цьому аналізі. Однак економія, пов'язана зі зменшенням площі подвійного посіву у сценарії

«соняшник», була дещо вищою у всіх випадках через вищу вартість насіння порівняно з кукурудзою та соєю.

Крім того, сценарій «кукурудза та соя» мав меншу економію та більшу кількість років для окупності інвестицій з позитивним чистим грошовим потоком порівняно зі сценаріями «соняшник» та «соняшник та кукурудза». Знову ж таки, відмінності можна пояснити нижчою вартістю насіння для кукурудзи та сої порівняно з соняшнику, а також припущенням, що не було збільшення врожайності, пов'язаного зі зменшенням площі перекриття рослин для сої.

ВИСНОВКИ

У цьому дослідженні оцінено потенційну економію, пов'язану з системою автоматичного керування секціями (ASC) на сівалках. Прямими перевагами цієї технології є зменшення загальної кількості висівного насіння та втрат врожайності, пов'язаних з подвійним посівом. Ці переваги перетворюються на фінансові вигоди, оскільки вартість насіння зменшується, а дохід збільшується завдяки зменшенню подвійного посіву.

Дані з 52 полів були зібрані у північних та центральних регіонах України. Площа подвійного посіву була оцінена за допомогою ручного методу, запропонованого в цьому дослідженні. Площа подвійного посіву, оцінена ручним методом, порівнювалася з площею подвійного посіву, оціненою за допомогою FieldCAT для 25 з 52 полів. Хоча систематичних відмінностей між цими двома методами не було виявлено, здавалося, що ручний метод краще враховує відхилення агрегатів від бажаного шляху на поворотних смугах, через криві та ближче до кінця рядів, а також додаткові площі перекриття, спричинені неочікуваними маневрами під час посіву, порівняно з FiledCAT. Тим не менш, FieldCAT був більш практичним та ефективним за часом для оцінки площі перекриття.

Очікувана площа подвійного посіву коливалася від 0,1% до 15,5% від загальної площі посівів залежно від форми та розміру поля. Поля були класифіковані на основі площі подвійного посіву як частки від загальної площі посівів на поля з низьким, середнім та високим подвійним посівом. Поля в категорії з високим подвійним посівом мали менші поля з більш неправильною формою, ніж інші категорії. Було виявлено, що потенційна економія, пов'язана з інвестиціями в ASC для сівалок, залежить від розміру агропідприємства та розподілу типів полів. Потенційна економія, пов'язана з ASC для сівалок, коливалася від 10 до 26 доларів США на га залежно від розподілу типів полів.

У дослідженні також оцінювалася мінімальна кількість років, протягом яких гарантована економія або надходження грошових коштів від інвестицій в ASC для сівалок була більшою, ніж відтік або виплати за кредитами. Зі збільшенням розміру агропідприємства потенційна економія від інвестицій в ASC збільшувалася, а мінімальна кількість років, протягом яких гарантувалися позитивні чисті грошові потоки щороку, зменшувалася. Крім того, розподіл типів полів може бути фактором, який слід враховувати під час прийняття інвестиційного рішення щодо ASC для сівалок. Зі збільшенням площі посівів у категорії з високим подвійним посівом, економія від ASC збільшувалася, а мінімальна кількість років для окупності цих інвестицій з позитивним чистим грошовим потоком щороку зменшувалася.

Попередні дослідження, що оцінювали переваги технології ASC, або зосереджувалися на одному полі, або передбачали однаковий тип полів для всієї ферми. Це дослідження додає розподіл типів полів на основі розміру поля, форми поля та площі перекриття як змінну, яку слід враховувати під час оцінки впровадження технології ASC на сівалках.

Результати цього дослідження використовуються для розробки інструменту допомоги у прийнятті рішень, який дозволяє агровиробникам оцінити потенційну економію та кількість років, які знадобляться для інвестицій в ASC, щоб сівалки повернули свою початкову вартість через річний чистий грошовий дохід, який вони генерують (тобто економію). Встановивши деякі основні параметри, такі як розподіл полів у різних категоріях типів полів, розмір ферми, посівна культура, вартість насіння, врожайність та ціни, фермер може оцінити потенційну економію від цієї технології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Схожість насіння як один із важливих показників [Електронний ресурс] // syngenta.ua. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.syngenta.ua/news/novini-kompaniyi/shozhist-nasinnya-yak-odin-iz-vazhlyvih-pokaznikiv>.
2. Чому необхідно перевіряти схожість насіння перед посівом [Електронний ресурс] // Головне управління Держпродспоживслужби в Черкаській області. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/hromadianam/upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/novyny-upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/1965-chomu-neobkhidno-pereviriaty-skhozhist-nasinnia-pered-posivom>.
3. Алієв Е. Б. Чисельне моделювання сповільнювача насіння пневматичної сівалки точного висіву / Ельчин Бахтияр огли Алієв, Петро Євгенійович Безверхній // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник / Кіровоградський національний технічний університет. - 2022. - Вип. 52. - С. 86 - 98.
4. Y. Ding, L. Yang, X. He, T. Cui, B. Qi, W. Zhang, Ch. Xie, Zh. Du, Y. Li, D. Zhang, Development and performance evaluation of an automatic section control system for corn precision planters, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 206, 2023, 107670, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107670>.
5. W. Wang, W. Shi, C. Liu, Y. Wang, L. Liu, L. Chen. Development of automatic wheat seeding quantity control system based on Doppler radar speed measurement, Artificial Intelligence in Agriculture, Vol. 15, Issue 1, 2025, pp 12-25, <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.12.001>.
6. Полторецький С. П. Оцінка залежності врожайності і показників якості насіння проса залежно від строку та способу сівби / С. П. Полторецький,

Н. М. Полторецька. // ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії. – 2019. – №4. – С. 29–31.

7. Радіонов Д. Якість висіву соняшнику 94%, або Темпо F — сівалка, яку потрібно розуміти [Електронний ресурс] / Д. Радіонов // Агробізнес сьогодні. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://agrobusiness.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/11904-yakist-vysivu-soniashnyku-94protsent-abo-tempo-f-sivalka-iaku-potribno-rozumity.html>.

8. Котигора О. Вплив строків та норм висіву на урожайність соняшника [Електронний ресурс] / О. Котигора // СуперАгроном. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://superagronom.com/articles/484-oleksandr-kotigora-vplyv-strokov-ta-norm-visivu-na-urojajnist-sonyashnika>.

9. Сіяти соняшник зі змінною нормою чи ні? Результати дослідження на 50 полях [Електронний ресурс] // Агроном. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agronom.com.ua/siyaty-sonyashnyk-zi-zminnoyu-normoyu-chy-ni-rezultaty-doslidu-na-50-polyah/>.

10. Посів соняшнику на міжряддя 12,5 см [Електронний ресурс] // Агробізнес сьогодні. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://agrobusiness.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/2355-posiv-soniashnyku-na-mizhriaddia-12-5-sm.html>.

11. Фактори, які впливають на прибуткове вирощування гібридів кукурудзи [Електронний ресурс] // Seed Ukraine. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://seed-ua.com/ua/factory-yaki-vplyvayut-na-prybutkove-vyroshhuvannya-gibrydiv-kukurudzy/>.

12. Amankulova K., Farmonov N., Mucsi L. Time-series analysis of Sentinel-2 satellite images for sunflower yield estimation, Smart Agricultural Technology, Vol. 3, 2023 DOI:10.1016/j.atech.2022.100098.

13. Налаштування сівалок при проблемах з посівом і глибиною заробки насіння [Електронний ресурс] // Поради від команди DEKALB. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dekalb.ua/agronomichna-biblioteka/porady-vid-monsanto/nalashtuvannja-sivalok>.

14. Легкодух І. Автоматизовані системи контролю якості сівби для просапних сівалок [Електронний ресурс] / І. Легкодух, Н. Легкодух // Агросеа. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://agrosea.com.ua/UKRNIPVT_POGORILOGO/.
15. Процеси, машини та обладнання АПВ [Текст] : навч. посіб. / М. О. Свірень, В. П. Смірнов, І. М. Осипов та ін. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2018. - 296 с.
16. Як оцінити якість посіву? Plant Counting: Pogostick та дрони [Електронний ресурс] // aggeek. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://aggeek.net/ru-blog/yak-otsiniti-yakist-posivu-plant-counting-pogostick-ta-droni>.
17. Правильний посів: основні фактори, що впливають на врожайність під час сівби польових культур. [Електронний ресурс] // AgroDay. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://agroday.com.ua/2019/05/14/pravylnyj-posiv-osnovni-factory-shho-vplyvayut-na-vrozhajnist-pid-chas-sivby-polovyh-kultur/>.
18. Морозов І. Фактори ефективності сівалок [Електронний ресурс] / І. Морозов, М. Макаренко // Агробізнес Сьогодні. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1138-factory-efektyvnosti-sivalok.html>.
19. Васильченко В. Фактори, які визначають якість сівби [Електронний ресурс] / В. Васильченко, В. Опалко // Агроном. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agronom.com.ua/factory-yaki-vyznachayut-yakist-sivby/>.
20. Спосіб оцінки точності висіву [Електронний ресурс] / О.Банний, А. Новицький, С. Карабиньош, Ю. Новицький // Пропозиція, № 5. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://propozitsiya.com/ua/sposib-ocinky-tochnosti-vysivu>.
21. Shannon D., Clay E., Kitchen N. (2018). Precision Agriculture Basics. American Society of Agronomy, Incorporated, 230p.

22. Jupp L. (2018). Precision Farming From Above. Writing Matters Publishing, 113 p.
23. Zubko V., Sirenko V., Kuzina T., Onychko V., Sokolik S., Roubik H., Koszelg M., Shchurh T. (2022) Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. Agricultural Engineering, Vol. 26 , No 1 , pp. 25-37 DOI: 10.2478/agriceng-2022-0003.
24. Delta Force [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.precisionplanting.com/products/product/deltaforce>.
25. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. Мельника В. І. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с

Додатки