

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

До захисту  
Допускається  
Завідувач  
кафедри

Шуляк М.Л.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження ефективності застосування елементів систем  
точного землеробства при посіві сої.»

Виконав:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Гузьома В.О.

\_\_\_\_\_ (Прізвище, ініціали)

Група:

СТЗ 2301-1м ВН

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Лебедєв А.Т.

\_\_\_\_\_ (Прізвище, ініціали)

Суми – 2024

## РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота представлена на 42 сторінках машинописного тексту пояснювальної записки, що містить 5 таблиць, 15 рисунків, додатків 2, 25 літературних джерел.

Ключові слова: ТОЧНІСТЬ ВИСІВУ, ПЛОЩА ПОДВІЙНОГО ПОСІВУ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ, СИНГУЛЯЦІЯ, КОНТРОЛЬ НОРМИ.

Площа подвійного посіву (DPA) на кінцевих рядах зазвичай зустрічається на полях сої. Економічні втрати та втрати врожаю від DPA можна зменшити за допомогою технології автоматичного контролю секцій (ASC) на сівалках. Однак вплив DPA на врожайність сільськогосподарських культур на різних рівнях урожайності (потенціал урожайності), а також різна частка DPA на українських полях ще не визначена кількісно. Використовуючи два набори даних, завданнями цього дослідження були:

1. Кількісно визначити втрати врожаю від DPA сої; розрахувати площу посіву, необхідну для повернення інвестицій від ASC, враховуючи: втрату врожаю, частку DPA та площу посівів.

2. Оцінити частку DPA в регіональному масштабі використовуючи дані 32 полів. Основними результатами були:

Використання технології ASC принесло переваги сої через економію насіння. Майбутні дослідження, зосереджені на перевагах ASC, повинні враховувати потенційну взаємодію між генотипами сільськогосподарських культур, управлінням полем і середовищем.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Стан питання і задачі досліджень .....	7
1.1. Аналіз досліджень застосування елементів точного землеробства при посіві.....	7
1.2 Агротехнічні вимоги до посіву просапних культур.....	14
1.3 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур.....	16
2 Методика досліджень .....	22
2.1 Збір даних про врожайність .....	22
2.2 Статистичний аналіз .....	26
3 Результати досліджень та їх аналіз .....	27
Висновки.....	35
Список використаних джерел.....	36

## ВСТУП

Для посіву сої висіваючі апарати застосовуються в різних технологічних і конструктивних виконаннях, характеризуються рядом позитивних аспектів і деяких недоліків. В даний час питанням якісного виконання технологічного процесу висіву культур приділяється багато уваги. Незважаючи на те, що дослідженням висівних апаратів займаються багато вітчизняних і зарубіжних вчених, дане питання розкрито недостатньо повно.

Висіваючий апарат - це один з елементів сівалки, що відповідає за рівномірне дозування висіваного матеріалу і подальшу його подачу до сошникових груп. Обґрунтований вибір оптимальних технологічно - конструктивних параметрів і режимів роботи висівного апарату залежить від фізико - механічних і технологічних властивостей оброблюваного сільськогосподарського матеріалу. Технологічною операцією, яка має значущий вплив на якість обробітку, є висів дозованої маси. Технологічний процес висіву характеризується складним конструктивним супроводом, при цьому, він має найбільш вагомий вплив на врожайність вирощуваних сільськогосподарських культур. Глибоке дослідження і оптимізація процесу роботи посівного агрегату, а також елементів, що входять в його систему, дозволяє виявити існуючі недоліки в технологічному процесі, а також в конструкції посівного агрегату, що відкриває шляхи до вдосконалення всієї посівної системи.

# 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1. Аналіз досліджень застосування елементів точного землеробства при посіві

Соя є однією з найважливіших польових культур у світі, займаючи разом близько 122 мільйонів гектарів (FAO). В Україні загальна посівна площа культури становить близько 1,8 мільйонів гектарів, тоді як у Сполучених Штатах – близько 72 мільйонів гектарів. Подвійна посівна площа (DPA) в крайніх рядах є поширеною проблемою на багатьох полях сої.

Щільність рослин, яка перевищує оптимальну норму для максимізації врожайності, не тільки збільшує витрати на насіння, але й може знизити врожайність. Протягом останнього десятиліття витрати на насіння зросли на для сої на 85% через використання генетично модифікованого насіння. Таким чином, стратегії зменшення DPA повинні призвести до економії вартості насіння, зберігаючи при цьому врожайність та економічні прибутки від культури. Значна частка сучасних гібридів залежить від щільності.

Агрономічна оптимальна густина рослин може коливатися від 40 до 100 тисяч рослин на га залежно від рівня врожайності (тобто потенціалу врожайності поля).

Щільність рослин, яка перевищує оптимальну, може зменшити швидкість росту рослин і вплинути на компоненти зерна, що призведе до зниження врожаю. Соя має компенсаторну здатність, яка впливає на реакцію на зміну густоти рослин, причому на врожайність не впливає широкий діапазон густоти рослин. Таким чином, використання надоптимальної густоти рослин може призвести до збільшення витрат на посадку без зміни врожайності.

Через високі витрати на виробництво фермери досліджують нові технології, щоб налаштувати використання різних ресурсів. За цим сценарієм технологію автоматичного контролю секцій (ASC) можна

використовувати з різними сільськогосподарськими знаряддями, такими як обприскувачі та сівалки, шляхом керування секціями, форсунками та рядами.

Кілька досліджень [11, 15] повідомляли про переваги ASC з обприскувачами, при цьому оцінки демонструють, що подвійне застосування може перевищувати 12% площі поля. В іншому випадку використання ASC для обприскувачів може зменшити перекриття з 4% (правильної форми поля) до 13,6% (складної форми поля).

Сівалки просапних культур можна оснастити технологією секцій автоматичного керування, щоб підвищити ефективність посіву за рахунок зниження витрат виробництва та підвищення продуктивності. Використовуючи систему глобального позиціонування, обладнану сівалкою разом із картами покриття, секція автоматичного керування дозволить просапним сівалкам запобігти пересіву, керуючи окремими висівними агрегатами або рядковими блоками в секції під час операцій посіву. Як правило, спочатку засаджують межі поля, а потім решту поля.

Під час сіви оператори вручну вмикали та вимикали висівні агрегати по всій ширині сівалки, коли вона наближалася до засіяних або запланованих до посадки ділянок. У якийсь момент один кінець сівалки буде починати рухатись внахлест до крайніх рядів. Вимкнення висівних блоків може призвести до пропуску (незасіяних) ділянок, у той час як повна ширина сівалки досягає кінцевого ряду перед вимкненням рядків може призвести до подвійного посіву площ.

Звести до мінімуму площі, що перекриваються, буде важко, особливо якщо уникати пропусків ділянок під час посадки. Подібним чином посів на полях неправильної форми, поворот на смузі та уникнення перешкод також може збільшити перекриття смуги.

Технологія автоматичного керування секціями автоматично вмикає секції або ряди сівалки на ділянках поля, які раніше були засіяні, і автоматично вмикає ці окремі секції або ряди сівалки, коли потрібно засіяти

ділянки. наближаються. Ця система може суттєво зменшити витрати на перекривання насіння і покращити врожайність завдяки зменшенню перекриття або пропуску площ.

Сьогодні багато аграріїв переходять від звичайних систем посіву до новітніх технологій, здатних працювати на підвищених швидкостях посіву для підвищення продуктивності та скорочення часу, проведеного в полі. Підвищення продуктивності завдяки зростанню швидкості посіву також сприятиме зростанню тенденції у великомасштабних операціях, які мають більшу кількість гектарів для посіву в межах заданих агростроків.

Підвищення продуктивності посівів допомагає виробникам покривати ту саму кількість гектарів, що економить витрати на володіння та експлуатацію техніки та робочу силу. Крім того, можливості керування машиною забезпечують додаткові переваги автоматичного й точного контролю бажаних норм висіву в просторовому масштабі, що потенційно може підвищити потенціал управління та продуктивність орних земель.

Удосконалені методи управління та ефективне застосування рослинницьких ресурсів можуть підтримувати зростання виробництва та покращити захист навколишнього середовища. З моменту появи технологій механічного посіву наприкінці 1800-х років висівні апарати із пунктирним висівом приводилися в рух за допомогою наземних приводних коліс. Механічні сівалки з наземним приводом служать ефективною технологією посіву, забезпечуючи змінну швидкість висівного апарату, яка в режимі реального часу реагує на зміни швидкості під час роботи в полі.

Лічильники насіння мають два параметри для регулювання посіву насіння: норма внесення (популяція рослин) і швидкість руху сівалки. Дослідження показали важливість рівномірного розподілу насіння та контролю глибини посіву для максимізації витрат насіння і перехоплення сонячного світла для отримання енергії для оптимального врожаю.

Згідно з даними Precision Planting Inc., зниження відсотка сівби на 1% знизило потенційну врожайність на 150 кг/га. Аналізуючи ефективність

висіву, пов'яжемо фактичну норму висіву з теоретичним інтервалом між насінням, отриманим у вигляді відсотка поділу, який є функцією точності дозування насіння.

Для порівняння в статті [5] описано «висівна секція» і «висівний апарат» відповідно до визначення стандарту ASABE S506 (Американське товариство сільськогосподарських і біологічних інженерів) і посилання на ISO 7256/1 (Міжнародна організація стандартизації), щоб описати пропуск або множинність (двійник або трійник). Хоча сівалки з механічним наземним приводом є ефективною технологією посіву на традиційних швидкостях, виникає занепокоєння, оскільки проковзування ґрунтових коліс і вібрація приводних ланцюгів можуть вплинути на точність посіву, особливо на вищих швидкостях посіву.

Крім того, опорні колеса зазвичай керують окремими висівними апаратами принаймні двох або більше висівних апаратів і в більшості випадків керують усіма ними на всій рамі сівалки. Як наслідок, швидкість висіву кожної секції є однаковою по всій сівалці або приводній секції сівалки, що, у свою чергу, не враховує різницю кутових швидкостей поперек рами сівалки під час сівби по криволінійному контуру. Отже, помилка інтервалу між насінням виникає під час сівби по контуру, оскільки внутрішній контур сівалки зменшується, а зовнішній контур перевищує рекомендований крок. Було показано, що помилки посіву, такі як надмірна або недостатня норма висіву, зростають із збільшенням розміру сівалки і швидкості сівалки.

Крім того, коли сівалки збільшуються в розмірі та збільшуються швидкості руху, поля неправильної форми створюють підвищену ймовірність пропусків і повторень. Ці нестандартні помилки та ненавмисні дії сприяють збільшенню виробничих витрат.

Поля неправильної форми створюють потребу в технології автоматичного керування секціями (ASC), щоб сигналізувати про керування окремими секціями. Індивідуальне керування висівним блоком

використовується для підтримки цільових норм внесення, мінімізації перекриття та зменшення норм внесення поза цільовою межею в межах поворотів на смузі розвороту, точкових рядів, уже засіяних ділянок поля, терас і підтоплених ділянок поля.

Щоб досягти індивідуального керування висівними апаратами для конкретних умов на ділянці та задовольнити зростаючий попит на більш високі швидкості посіву, виробники сівалок звернулися до систем дозування насіння з електронним приводом, які мають функціональні можливості для вирішення механічних обмежень, що викликаються опорним приводом, як описано раніше. Електронні висівні апарати усувають потребу в механічному терті для контролю та розподілу насіння, типового для висівних апаратів з механічним приводом. Електричні контролери дозування насіння можуть регулювати швидкість висіву висівних секцій, щоб підтримувати норму висіву під час змін швидкості та реагувати зі швидкістю, необхідною для більшої точності висіву.

Електрична технологія висіву на окремих висівних блоках має переваги порівняно з попередніми висівними технологіями завдяки своїй модульній конструкції, легкому виготовленню та обслуговуванню, мінімальній кількості рухомих компонентів, які зношуються або потребують заміни, і можливості контролювати окремі висівні блоки.

Індивідуальні висівні агрегати з автоматичним керуванням дають змогу використовувати багато методів керування на конкретній ділянці без потреби в додатковому обладнанні, зокрема: контурне землеробство, індивідуальне керування рядком та норми висіву за встановленими вимогами. Технологія посіву на певному місці з використанням ASC використовує електричні системи вимірювання насіння для висіву на заздалегідь визначених ділянках поля та нормах висіву, компенсуючи зміни швидкості посіву. Таким чином, автоматизація електронних засобів керування дозволила оперувати машиною, перевищуючи можливості людини забезпечувати точність.

Загалом було доведено, що ASC окупається менш ніж за 2 роки завдяки економії вхідних ресурсів на 1–12% по всьому полю з середньою економією 4,3–7,0% на вартості насіння. . Більше того, інші дослідження показують, що площі надмірного внесення (або подвійного посіву) коливаються від 0,1% до 15,5% залежно від розміру та форми поля, де впровадження цієї технології може заощадити від 4 до 26 доларів США на гектар.

Автоматичне керування машиною за допомогою електричних лічильників насіння дозволило сівалкам підтримувати бажану відстань від проходу до проходу та збільшити зону охоплення, швидкість руху та загальний розмір машини завдяки автоматичному контролю, який раніше був неможливим за ручного керування. Щоб задовольнити попит на підвищену точність дозування насіння та зниження витрат на виробництво, прогрес у технології висіву був зосереджений на рівномірному розподілі насіння.

Нерівномірне розміщення рослин призводить до того, що одна рослина дає менше зерна/врожайності та конкурує за поживні речовини та вологу з іншою рослиною. Встановлено, що рівномірний проміжок між насінням безпосередньо пов'язаний із вищою врожайністю переважно при популяціях з високою нормою висіву, де зниження врожайності прямо пов'язане зі збільшенням варіабельності між рослинами. . Встановлено, що варіабельність інтервалу між рослинами становить 25% варіабельності врожайності, тоді як окреме дослідження виявило, що рівномірність між рядами рослин збільшує потенційну врожайність [8].

Були проведені дослідження для кількісної оцінки впливу на врожайність культур і відстань між насінням на основі типу робочих органів формування борозни, висоти падіння насіння і впливу на борозну притискної сили [12]. Фактична відстань між насінням, швидкість насіння, місце виходу та кут траєкторії були оцінені на основі траєкторії насіння, що

залишає насіннєву трубку. Крім того, було досліджено, що системи закриття борозен впливають на стан культури та наступну врожайність [14].

Додаткові дослідження [18] показали, що значний вплив на точність і рівномірність висіву було здійснено завдяки сингуляційному висівному дозатору та входу у верхню частину насіннепроводу. Дослідження показують, що вплив на точність висіву зумовлений конструкцією та геометрією насінневих трубок, де знос насіннєвої трубки та загальний стан безпосередньо впливають на точність висіву.

Високошвидкісні системи візуалізації використовувалися для аналізу систем доставки насіння, де оптичні датчики використовувалися для аналізу точності розподілу насіння на стрічкових дозаторних системах, а також кількісно визначали відстань між насінням і мінливість, коли насіння потрапляє в насіннєву трубку та виходить із неї, таким чином впливаючи на подальшу відстань між борознами зі збільшенням швидкості руху сівалки.

Незважаючи на те, що дослідження використовували візуалізацію для аналізу окремої точності вимірювача висіву та рівномірності посіву, не було проведено жодних досліджень для розуміння станів сівалки (тобто статичних швидкостей сівби, динамічних швидкостей сівби з прискоренням/уповільненням та норми висіву), які потенційно впливають на точність висіву. Оскільки вона значною мірою залежить від висівного лічильника, розуміння того, як електричні системи дозування насіння реагують на зміну стану машини, є обов'язковим, якщо нові системи висіву хочуть досягти вищих швидкостей посіву, щоб задовольнити потреби користувачів у підвищенні продуктивності. Таким чином, завдання цього дослідження полягали в тому, щоб поєднати електричну систему моніторингу насіння та високошвидкісні зображення для аналізу точності висіву сівалки та дослідження станів машини, які впливають на точність висіву, таких як швидкість сівалки, прискорення/уповільнення сівалки та норма внесення (популяція).

У науковій літературі опубліковано кілька досліджень, пов'язаних із технологією ASC для сівалок, причому інформація стосується лише ферм США. Згідно з цими дослідженнями, в Алабамі було зареєстровано в середньому 4,4% DPA відносно посівної площі і в середньому 4,5%.

Для українських полів не було опубліковано досліджень про середнє DPA відносно посівної площі та реакцію врожайності на DPA для польових культур. Таким чином, ґрунтуючись на двох різних наборах даних, завдання цього дослідження полягали в тому, щоб: кількісно визначити втрати врожаю від DPA для сої при різних рівнях урожайності; кількісно визначити площу посіву, необхідну для повернення інвестицій від технології ASC, враховуючи такі змінні: втрати врожаю від DPA, співвідношення сої в сівозміні, та посівну площа; визначити частку DPA, використовуючи дані, зібрані з полів.

## **1.2 Агротехнічні вимоги до посіву просапних культур**

На відміну від зернових колосових просапні культури висівають або квадратно-гніздовим, або пунктирним способом. Спосіб сівби визначає специфіку агротехнічних вимог. Додаткові агротехнічні вимоги до посіву просапних зводяться до наступного:

1. Відхилення глибини загортання насіння соняшнику від заданої не повинно перевищувати відповідно  $\pm 1,0$  і  $\pm 1,5$  см.
2. Допустимі відхилення: ширини основних міжрядь не більше  $\pm 1,0$  см, ширини стикових міжрядь не більше  $\pm 5,0$  см.
3. При квадратно-гніздовому посіві в гніздо вноситься певна кількість насіння: 2 ... 3 при посіві соняшнику, 3 ... 4 при посіві баштанних культур, 4 ... 5 при посіві бобів бавовнику. Розтягнутість окремих гнізд не повинна перевищувати 10 см.
4. При пунктирному посіві задану кількість насіння на 1 га має бути на 30% більше. Відхилення від розрахункового інтервалу між зернами в

ряду не більше  $\pm 30\%$ . Кількість зерен з зазначеним допустимим відхиленням від загального числа не менше 85%.

5. Прямолінійність поздовжніх, а для квадратно-гніздового способу і поперечних рядів. Відхилення центрів гнізд від осі поперечних рядів на довжині, що дорівнює трьом суміжним захопленням агрегату, не більше  $\pm 7\%$ .

6. Ширина захвату посівного агрегату повинна бути дорівнює або в ціле число разів більше ширини захоплення агрегату для міжрядної обробки посівів.

7. Відхилення норми висіву насіння: кукурудзи - не більше  $\pm 5 \dots \pm 8\%$ , соняшнику - не більше  $\pm 5\%$ . Відхилення норми одночасно внесених добрив не більше  $\pm 10\%$ .

При першому проході агрегату перевіряють фактичну глибину загортання насіння, при другому і наступних проходах - норму висіву насіння, добрив, гербіцидів, рівномірність висіву окремими секціями і виліт маркерів. Приймальний контроль і оцінку якості роботи посівних агрегатів проводять після появи сходів. Основними оціночними показниками є дотримання норми висіву, глибини загортання насіння і прямолінійність рядків в поперечному напрямку, що виражається довжиною гнізд і величиною уступів рядків гнізд в суміжних проходах агрегатів. Крім цього враховується ширина основних і стикових міжрядь.

Посів і посадку просапних культур проводять в оптимальні для культури агротехнічні терміни в досить прогрітий ґрунт. Підготовлене до посіву або посадки поле повинно бути вирівняним: високі звальним гребені (більше 5 см) і глибокі розвальний борозни (більше 10 см) відсутні [11, 12].

Одночасно з посівом (посадкою) в рядки вносять мінеральні добрива. Необхідно сіяти каліброваними, обробленими пестицидами насінням. Насіння при посіві та посадці повинні бути рівномірно розподілені і повністю забиті на задану глибину по всій площі. Насіння повинні розташовуватися прямими рядами з однаковою шириною міжрядь.

Контроль якості посіву проводять щозміни (повсякденний контроль) і при остаточному прийнятті посівів.

Повсякденний контроль здійснюють механізатори, сіячі і агроном господарства за такими показниками: дотримання норми висіву; ширина стикових міжрядь; глибина загортання насіння; робота висівних апаратів.

Глибину посіву визначають по розкритим борозенками відповідно до прийнятої методики.

Глибина посіву не повинна відхилитися від заданої величини більш ніж на 1,5-2 см.

Ширину стикових міжрядь вимірюють відповідно до методики, прийнятої для оцінки якості посіву зернових культур.

Контроль норми посіву насіння можна проводити різними методами. Однак більш часто використовують наступний спосіб. В одному або декількох проходах агрегату розкривають всі рядки на 1 м і підраховують знайдені в борозенці насіння. Помноживши середню кількість насіння на перекладної коефіцієнт, отримують норму висіву.

Норма висіву повинна дорівнювати розрахунковій або трохи перевищувати її.

При цьому густоту стояння рослин доцільно підраховувати не на площі, а на протяжності (м) рядка. При ширині міжрядь 45, 60, 70, 90 см рослини підраховують відповідно на 22,2; 16,7; 14,3; 11,1м рядка, так як число рослин на зазначених відрізках рядка буде чисельно дорівнює густині стояння рослин (тис. шт / га).

### **1.3 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур**

Посів є одним із важливих етапів у рослинництві, який сильно впливає на потенційну врожайність. Точне та послідовне розміщення насіння вимагає передових точних технологій, які здатні підтримувати ці бажані параметри посіву в умовах високодинамічної роботи в полі. У 2018 році світова індустрія точного землеробства коштувала 5,6 мільярда доларів

США, а в 2024 році вона досягне 11,6 мільярда доларів. Технології точного землеробства стосуються систем навігації різного сільськогосподарського обладнання з використанням глобальної системи позиціонування (GPS), геоприв'язаних карт ґрунту та врожайності та систем змінної норми внесення, які спрямовані на максимізацію виробництва продуктів харчування, зниження витрат виробництва та мінімізацію витрат та надмірного використання ресурсів. Використання сівалок точного висіву надає операторам зворотній зв'язок у режимі реального часу та дозволяє їм здійснювати коригування на ходу, що відповідає масштабу просторової мінливості, наявної на полі під час посівних операцій. Таким чином, оператори здатні керувати стратегіями, які дозволяють їм розміщувати насіння в потрібному місці та в потрібний час. Посадка в потрібний час передбачає дотримання рекомендованих дат посіву, щоб запобігти потенційній втраті врожаю через затримку посіву.

На вплив затримки посіву на потенційну врожайність може вплинути скорочення вегетаційного періоду, що збільшує появу комах і хвороб, а також небажані погодні умови під час запилення. Період посіву коливається від квітня на півдні до середини травня на північному заході.

Однак через невизначеність погоди будуть випадки, коли надмірна вологість, здебільшого через дощі, потенційно може скоротити дні, придатні для посіву. Ця ситуація може змусити виробників виконувати посадкові операції за межами оптимального вікна посіву. Попередні дослідження показали, що пізній посів може потенційно знизити врожайність.

Своєчасне завершення посіву також може вимагати стратегії управління від виробників, оскільки середній розмір полів зростає. Така стратегія може включати збільшення швидкості посіву, щоб отримувати більше гектарів на день протягом доступних днів ідеальних дат посіву. Однак більш висока швидкість посіву може призвести до нерівномірної глибини посіву та розміщення насіння, особливо коли поле завжди відрізняється щодо текстури ґрунту, вологості, поживних решток і рельєфу.

Декілька досліджень показали, що рівномірність розміщення рослин і поява сходів залежать від швидкості, яка в кінцевому підсумку впливає на потенційну врожайність кукурудзи.

Поганий контроль глибини сівалки при вищій швидкості посіву міг спричинити затримку появи сходів і мінливість інтервалів. Дослідження, говорять про зниження врожайності за кожен одиницю збільшення швидкості посіву в діапазоні від 7 км/год до 10,0 км/год, що можна пояснити нерівномірністю у відстанях. Дослідження свідчать про зниження точності розміщення насіння зі збільшенням швидкості та припускають, що мінливість у відстанях може бути пов'язана з підстрибуванням насіння в ложі через вібрацію сівалки. Подібним чином було показано, що нерівномірна глибина посіву призводить до поганого сходу культур, що призвело до зниження врожайності зерна. Сучасні сівалки точного висіву або просапні сівалки здатні підтримувати цільову глибину посіву та відстань між різними умовами поля, контролюючи притискну силу. Величина додаткового навантаження змінюється на кожному полі та визначається під час фактичних операцій посіву та польових умов.

Ефективна робота в сучасному сільському господарстві вимагає високої продуктивності посівних машин, універсального комбінування різних робочих органів в складі агрегату, а також можливості швидкого та безпечного перміщення по дорогах загального користування.

Загалом слід зазначити, що серед традиційних вимог до надійності та ефективності виробленої техніки на передній план виходять конкурентоспроможність, поєднання виконуваних операцій, універсальність і пристосованість до різних природних та виробничих умов, співвідношення ціни та якості, а також організація технічного сервісу. В сучасних умовах виробники техніки мають більше проявляти гнучкість і оперативність при задоволенні різноманітних вимог замовників.

Подальше вдосконалення посівної техніки ведеться в напрямках підвищення рівномірності доставки насіння і добрив до сошників;

забезпечення заданої рівномірності їх висіву по глибині; збільшення об'єму ємностей для насіння і добрив, а також зменшення часу на переведення широкозахватних комплексів в транспортне положення для транспортування на великі відстані і назад - в робоче.

Незалежно від типу посівної техніки, спільною тенденцією їх вдосконалення є підвищення показників якості виконання технологічного процесу всіма агрегатами машини. Досягти цієї мети можна ретельно підбираючи тип і параметри робочих органів для кожної визначеної ґрунтово-кліматичної зони.

Серед показників сучасної сівалки, що визначалися опитуванням керівників агропідприємств, перше місце посідає якість посіву, на другому - надійність і тільки на третьому - співвідношення ціни та якості.

Головними чотирма факторами врожайності, на які можливо вплинути під час сівби є це норма висіву, відстань між рослинами в рядку, наявність двійників і пропусків і проростання.

При цьому норма висіву, як не дивно здасться багатьом, має найменше значення. Фактор відстані між рослинами, тобто, точної розкладки насіння, впливає на врожайність більше. Ще важливіше виявилася сінгуляція - відсоток двійників і пропусків. Виробники та продавці сівалок звертають велику увагу сільгоспвиробників на заходи щодо мінімізації двійників і пропусків. Однак це не найважливіше. Адже всі ці заходи забезпечують тільки рівномірність розподілу насіння по полю. Тоді як найбільше впливає на врожайність рівномірність проростання.

У цей показник входять як відсоток схожості насіння, так і рівномірність і одночасність сходів. Рівномірними і дружними вважаються сходи, отримані протягом перших 36-48 годин після посіву. Якщо якась рослина не встигає виткнутися в перші 2 доби, а велика частина сусідніх встигає, то ті, що зійшли раніше, його заглушають. А це - недобір урожайності.

Залишилося тільки розібратися в причинах нерівномірності сходів. На них пролили світло деякі досліді і аналіз даних систем точного землеробства. Наприклад, з'ясувалося, що на глибині загортання насіння, визначеної в літературі для відповідної культури в якості оптимальної, відносна вологість ґрунту коливалася від 20 до 60%, а для успішного проростання насіння вологість на глибині їх закладки повинна становити не менше 30%.

У зв'язку з цим досліді показали істотний вплив на проростання глибини загортання насіння. Наприклад, в ході одного з дослідів з'ясувалося, що насіння кукурудзи, посіяні на глибину 7,6 см, де було найбільше вологи, через певний період часу проросли майже все. За цей же час насіння, посіяні на глибину 5 см, ледь почали проростати через брак вологи. А посіяне на глибину 2,5 см так і залишилися лежати в очікуванні дощу. Тому постійна робота агронома - це пошук «золотої середини». Тому що посієш глибоко - більше вологи, але втрачається енергія проростання. А посієш дрібно - енергія проростання буде краще, зате вологи буде не вистачати.

Також в ході одного з дослідів, проведеного в минулому році в Україні на полях компанії «Кернел», виявилось, що правильний вибір навантаження на посівну секцію має набагато більше значення для врожайності, ніж низька кількість двійників і пропусків. Наприклад, при оптимальному притискному зусилля, яке прикладається до посівної секції, і інших рівних умовах врожайність кукурудзи становила 144,5 ц / га. При максимальному притискному зусиллі, коли на сівалці, як то кажуть, закрутили все пружини, врожайність знизилася до 140,5 ц/га. А ось коли притискне зусилля зменшили до 80 кг - врожайність зменшилася до 131 ц/га. Тому низьке притискне зусилля часто не може перешкодити підйому сошника. Тим часом багато українських аграріїв сіють просапні культури легкими сівалками, де притискне зусилля не перевищує 80 кг.

Звичайно, про необхідність коригування глибини посіву або притискного зусилля залежно від ґрунтових умов знає кожен агроном. Однак

на практиці не всі з сільгоспвиробників перенастроюють притискне зусилля при переїзді на поле з іншими умовами, так як не готові витратити на це по 4-5 годин з 20 годин роботи сівалки на добу навесні в сезон.

Тому в останні роки розвиток технологій точного землеробства дозволило змінювати притискне зусилля не виходячи з кабіни, причому посекційно - так само, як трохи раніше точне землеробство зробило можливим регулювання норми висіву. Але подібні технології коштують грошей. Наприклад, сучасна імпортна пропашная сівалка, оснащена всіма найсучаснішими технологіями точного землеробства, обійдеться українським аграріям в 60-90 тис. дол.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Збір даних про врожайність

Для цього дослідження було використано два набори даних. По-перше, набір даних 1, заснований на польових експериментах, використовувався для кількісної оцінки впливу DPA порівняно з ASC на врожайність сої та для визначення необхідної посівної площі для відновлення інвестицій у технологію ASC при використанні її на сівалках. По-друге, набір даних 2 представляв геоприв'язані дані про посіви, зібрані на 24 фермерських полях, і використовувався для кількісного визначення частки DPA на полях.

Дані про врожайність сої були зібрані з 16 польових випробувань протягом вегетаційних сезонів 2023/2024. Усі дослідження проводилися з використанням сівалок виробників, оснащених технологією ASC.

Поля засівали за допомогою тракторів, обладнаних системою автоматичного керування на основі глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) із диференціальними корекціями в реальному часі (Real Time Kinematic, RTK), які надавалися з базової станції, встановленої на кожному підприємстві. Для всіх років розміщення, крім поля 3, виробники використовували Evolution RTK, а для поля 3 StarFire RTK від компанії John Deere.

У кожному році на ділянці було перевірено дві обробки на ділянках, розташованих у кінцевих рядах кожного поля з ділянками поруч: ASC без перекриваючих ділянок за допомогою індивідуального контролю рядків та DPA з пересадкою на торцевих рядах (рис. 1). Кінцеві ряди були висаджені спочатку з посадочними доріжками, завершеними системою ASC; тоді як для ділянок з DPA ASC було вимкнено (рис. 1). Поля було засіяно сівалкою моделі Princessa, оснащеною системою контролю рядків Stara і системою розподілу насіння vSet.

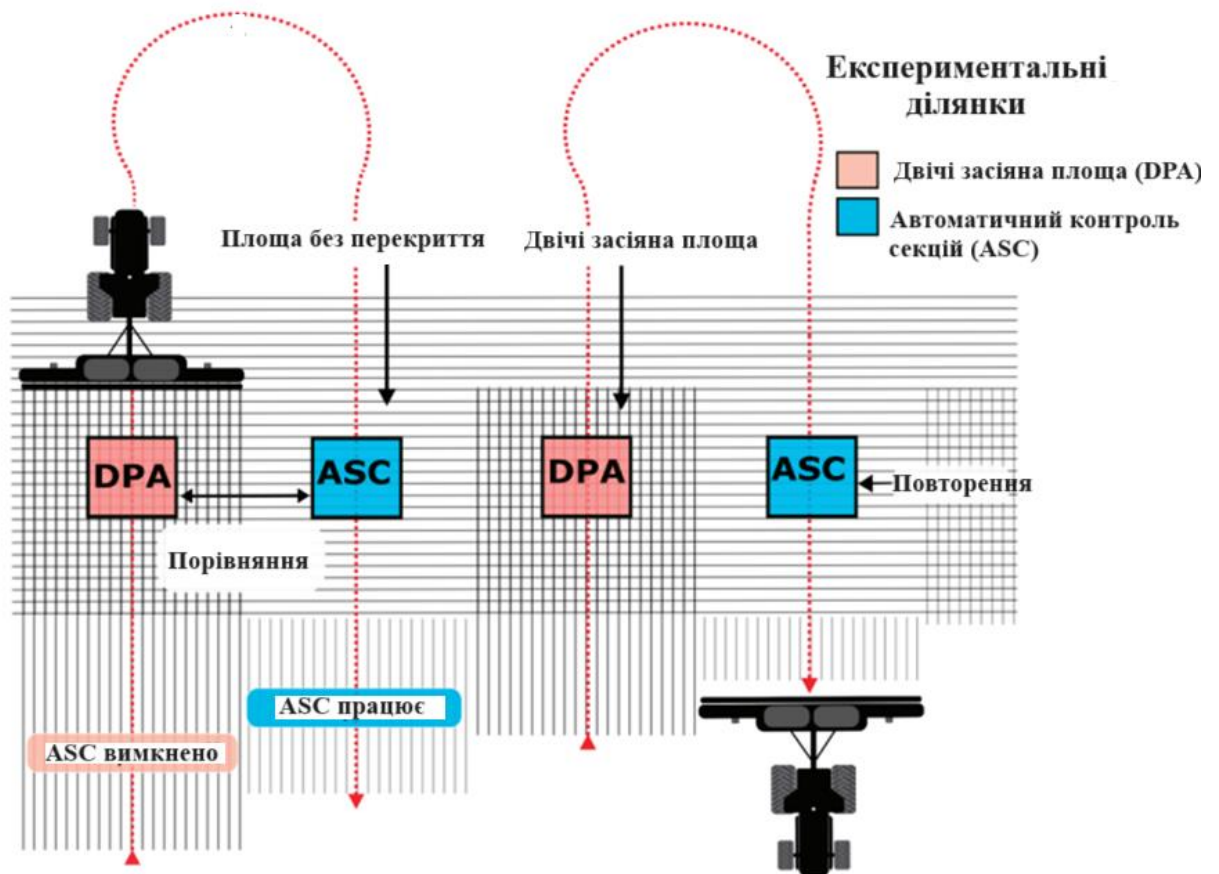


Рис. 1 - Схема та розташування експериментальної ділянки з площами подвійного посіву (DPA) та без пересіву за допомогою використання автоматичного секційного контролю (ASC) (набір даних 1)

Проходи висаджували під кутом  $90^\circ$  відносно кінцевих рядків (рис. 1). Для сої створили 18 порівняльних ділянок. Систему ASC попередньо протестували рядок за рядком і відкалібрували для автоматичного вимикання за 0,25 м і до ввімкнення за 0,25 м, коли сівалка залишає кінцеві ряди. Ширина міжрядь становила 0,5 м. Усі первинні практики управління культурами та вибір гібридів/сортів були зроблені кожним виробником. Після появи сходів дослідні ділянки окреслювали в межах крайніх рядків і по осевій лінії проходу сівалки (рис. 1).

Ділянки були 3,0 м завдовжки і 3,0 м завширшки. Щільність рослин визначали на стадії V3 (третій три листок) у п'яти центральних рядах ділянок (рис. 1). Наприкінці сезону всі ділянки сої було зібрано вручну. Вміст вологи в зерні та насінні було визначено для кожної ділянки та

доведено до 120 г/кг, оскільки це найпоширеніший підхід, який використовується. Крім того, 10 рослин на ділянці збирали окремо, щоб визначити компоненти врожайності: кількість насіння на рослину (SNP), загальну кількість стручків і стручків. з однією, двома, трьома та чотирма насінинами, вручну підраховували масу тисячі насінин ( г).

*Набір даних 1. Втрати врожайності сої на площах з двома посівами*

Щоб оцінити втрати врожаю, урожай від DPA відносно ASC було розраховано співвідношення: врожай з DPA/врожай з ASC). На основі цього підходу було розраховано кумулятивний частотний розподіл (від 0–1) втрати/приросту врожаю. Крім того, була розрахована відносна втрата врожайності (кг/га), пов'язана з часткою DPA представлена для чотирьох сценаріїв частки DPA: 1, 5, 10 і 15% поля

Для всіх показників DPA було визначено економічні втрати. Втрату врожаю було помножено на ринкову ціну для сої 0,40 дол. США/кг.

Було застосовано наступний підхід для оцінки рентабельності інвестицій (тобто площі посіву, необхідної для повернення інвестицій завдяки технології ASC).

Було проведено додатковий аналіз із використанням набору даних 2 із геоприв'язаних даних посівів для оцінки частки DPA на полях. Набір даних складається з 32 полів з загальною площею 1125 га. Дані посіву (шейп-файли) були зібрані за допомогою сівалок без технології ASC (32 поля), але всі оснащені диференціальними корекціями в реальному часі.

Для зберігання даних використовувався монітор Topper 5500 VT. Під час посіву операції (орієнтація траєкторії, повороти на поворотній смугі тощо) проводилися за звичайним планом посіву, визначеним виробником. У кінцевих рядах датчик визначав, коли сівалки опускалися або піднімалися, і ці дані збиралися та зберігалися як шейп-файли.

Оскільки DPA залежить від розміру сівалки, для аналізу були обрані лише поля, засіяні однаковою кількістю рядів, зазвичай між 12 і 16 рядами, що є найбільш поширеним розміром сівалки в цьому регіоні. Дані були надані виробниками та клієнтами компанії. Крім того, з метою усунення помилок охоплення GPS в оцінці DPA сім полів засіяли за технологією ASC для 14-рядної сівалки. Було висунуто гіпотезу, що якщо файли форми насаджень з ASC вказують на деякий відсоток DPA, це загальне значення має бути виключено з даних DPA, щоб отримати більш точну оцінку пропорції DPA. Помилки можуть бути результатом топографії поля або втрати сигналу GPS.

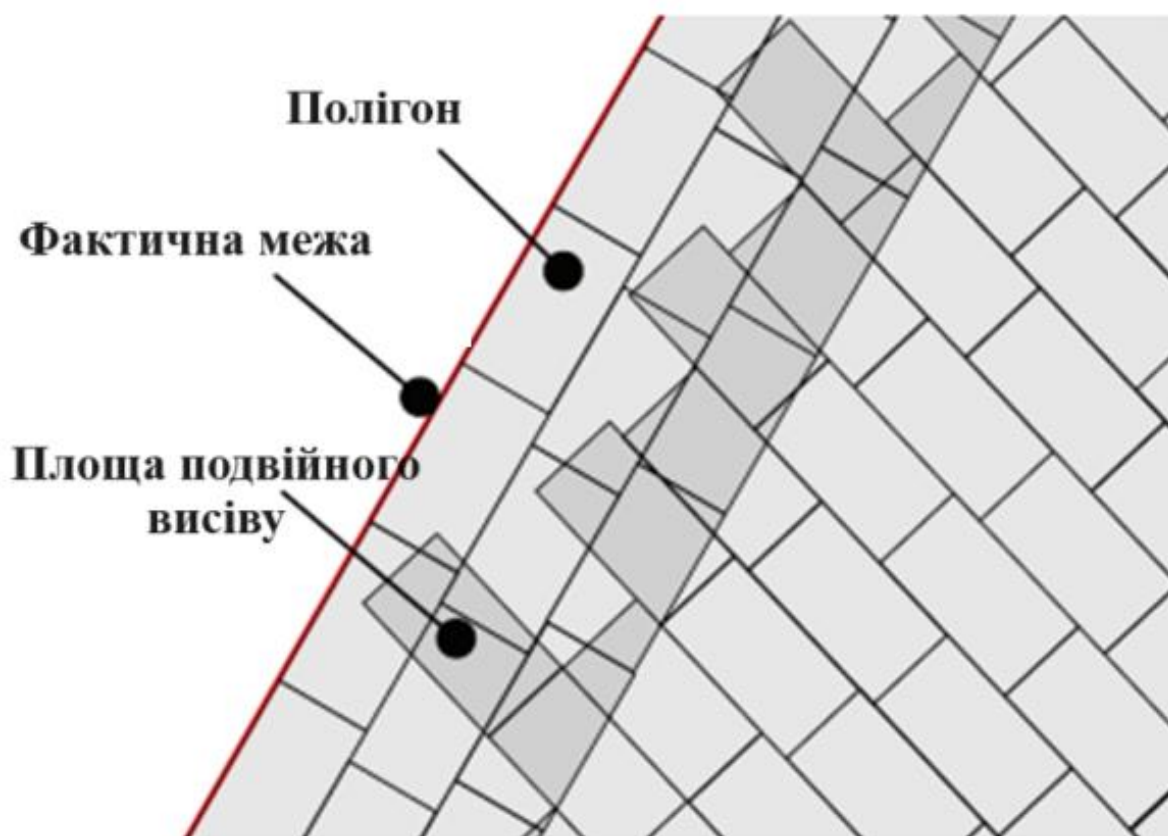


Рис. 2 - Інформація шейп-файлу з набору даних 2, яка використовується для розрахунку посівної площі (загальна площа полігонів), площі поля (згідно координат), площі подвійного посіву (DPA) (загальна площа полігонів мінус площа поля) і частки DPA (загальна площа полігонів) співвідношення площа/площа поля) у кожному оцінюваному полі

Дані про насадження були проаналізовані за допомогою шейп-файлів полігонів із геоприв'язкою (рис. 2), а площа насаджень була розрахована за допомогою геометричної функції в програмному забезпеченні QGIS. Площа окремих багатокутників (включаючи накладені багатокутники) була використана для розрахунку загальної площі насаджень. Площа поля була визначена на основі межі поля, використовуючи крайню межу сівалки. Оскільки під час процедури посіву відбувається певний ступінь перекриття, площа посівів буде більшою, ніж гранична площа. Для кожного оцінюваного поля DPA визначали шляхом розрахунку співвідношення посівна площа/гранична площа (рис. 2).

## 2.2 Статистичний аналіз

Для набору даних I була отримана описова статистика, така як середнє, мінімальне, максимальне, стандартне відхилення (SD), коефіцієнт варіації (CV), для густоти рослин, урожайності для сої за допомогою програмного забезпечення (Таблиця 2). Дисперсійний аналіз урожайності та компонентів врожайності (тобто SNP та TSW) між обробками ASC та DPA проводився за процедурою NLE для щільності рослин, повторюваності та видом посіву, що розглядалиться як випадкові змінні. Лінійні регресії були використані для характеристики співвідношення між співвідношенням  $Yield_{DPA}/Yield_{DPA,ASC}$  (рис. 3), а також співвідношенням DPA/густота рослин ASC, щільності рослин і щільності рослин ASC (рис. 4) за допомогою процедури LME. . Був проведений алометричний аналіз (логарифмічна шкала) для порівняння нахилів співвідношення ASC щільності рослин DPA/щільності рослин за допомогою програми Past. Лінійні моделі між посівною площею (га) і DPA (га та %) також були перевірені за допомогою програми R.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Для кукурудзи густота рослин була на 77% більшою при DPA порівняно з обробкою ASC (табл. 2). Подібним чином у сої було на 72% більше рослин у DPA порівняно з обробкою ASC. Проте більша густота рослин сої не змінила врожайність (табл. 2). Для кукурудзи загальна втрата врожаю за обробки DPA становила 1,4 мг га<sup>-1</sup>, або на 8,3% нижче ( $p < 0,004$ ), ніж урожайність на ділянках ASC; тоді як для сої середня втрата врожаю для DPA становила 3%, або на 0,2 Мг га<sup>-1</sup> нижче ( $p = 0,60$ ) порівняно з урожайністю на ділянках ASC (табл. 2).

Таблиця 2 - Зведені статистичні дані щодо густоти рослин, врожайності та компонентів врожайності для автоматичного контролю секції (ASC) і подвійної посівної площі (DPA) (набір даних 1 )

Спосіб посіву	Показник	Сер	Мін	Макс	SD§	CV, %
ASC	PD, га <sup>-1</sup> х 1000	268	207	311	31	12,0
	врожай, кг/га	4,9	4,0	6,3	0,8	15,7
	Насинин/рослин	160	117	216	31	20,0
	Маса тис. нас., г	203	167	241	24	12,0
DPA	PD, га <sup>-1</sup> х 1000	460	400	533	45	10,0
	врожай, кг/га	4,8	3,9	6,6	0,8	16,3
	Насинин/рослин	101	75	155	20	20
	Маса тис. нас., г	204	175	240	23,7	11,6

Результати врожайності для DPA розраховувалися як співвідношення між YieldDPA та YieldPASC на всіх полях сої (місця 5, 6 і 7). Щоб оцінити втрати врожайності при різних рівнях врожайності, було розраховано співвідношення між відносною врожайністю (YieldDPA/YieldPASC) і YieldPASC (рис. 3).

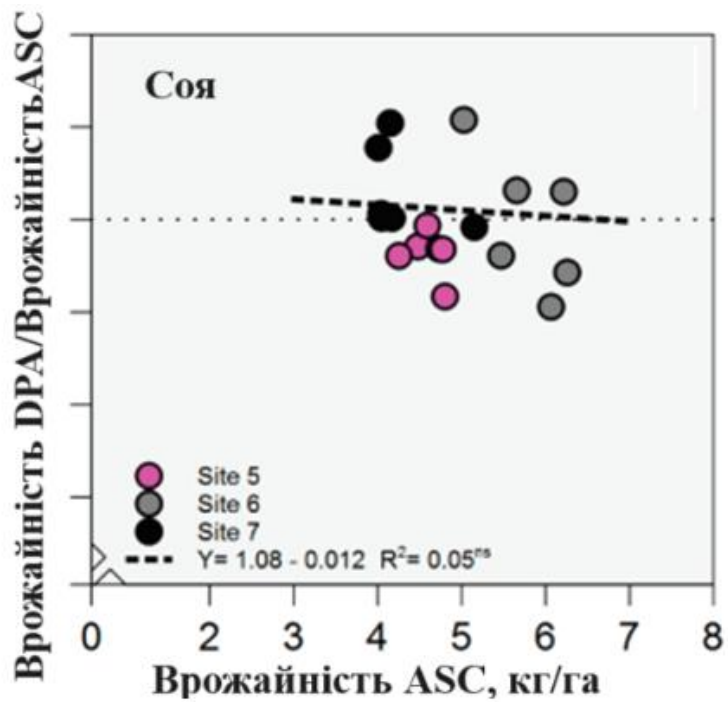


Рис. 3 - Зв'язок між відносною врожайністю, розрахованою як співвідношення врожайністьDPA/врожайністьASC, і врожайністю ASC. Кожне спостереження представляє паралельну оцінку врожайності для сої (загалом 18, три ділянки)

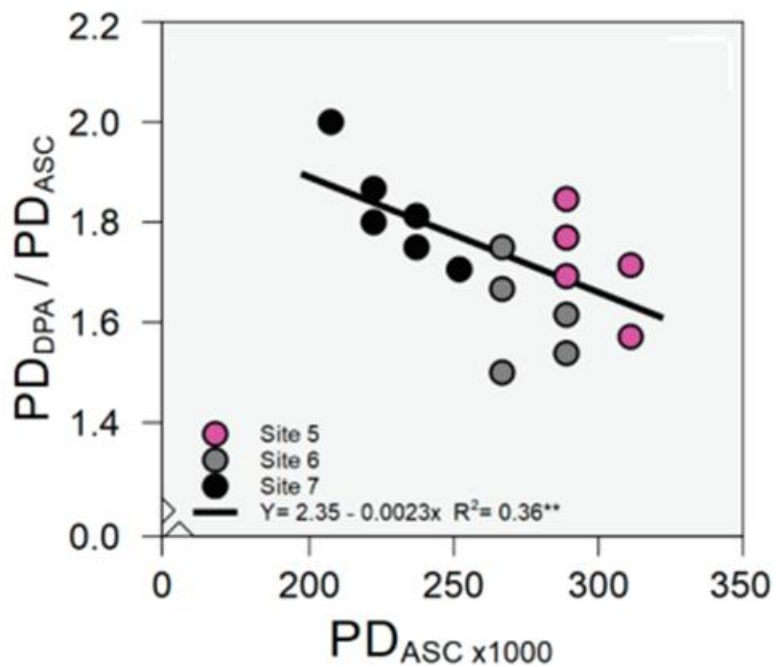


Рис. 4 - Зв'язок між відносною густиною рослин, розрахованою як коефіцієнт густоти рослин DPA/ ASC ( $PD_{DPA}/PD_{ASC}$ ), і густиною рослин ASC для посівів сої. Кожне спостереження представляє паралельну оцінку врожайності (загалом 18, три ділянки)

Для сої негативна тенденція була спільною для всіх ділянок (ділянки 5, 6 і 7) (рис. 4), із меншим співвідношенням щільності рослин DPA/щільності рослин ASC у міру збільшення щільності рослин ASC ( $R^2 = 0,35$ ,  $p < 0,03$ ).

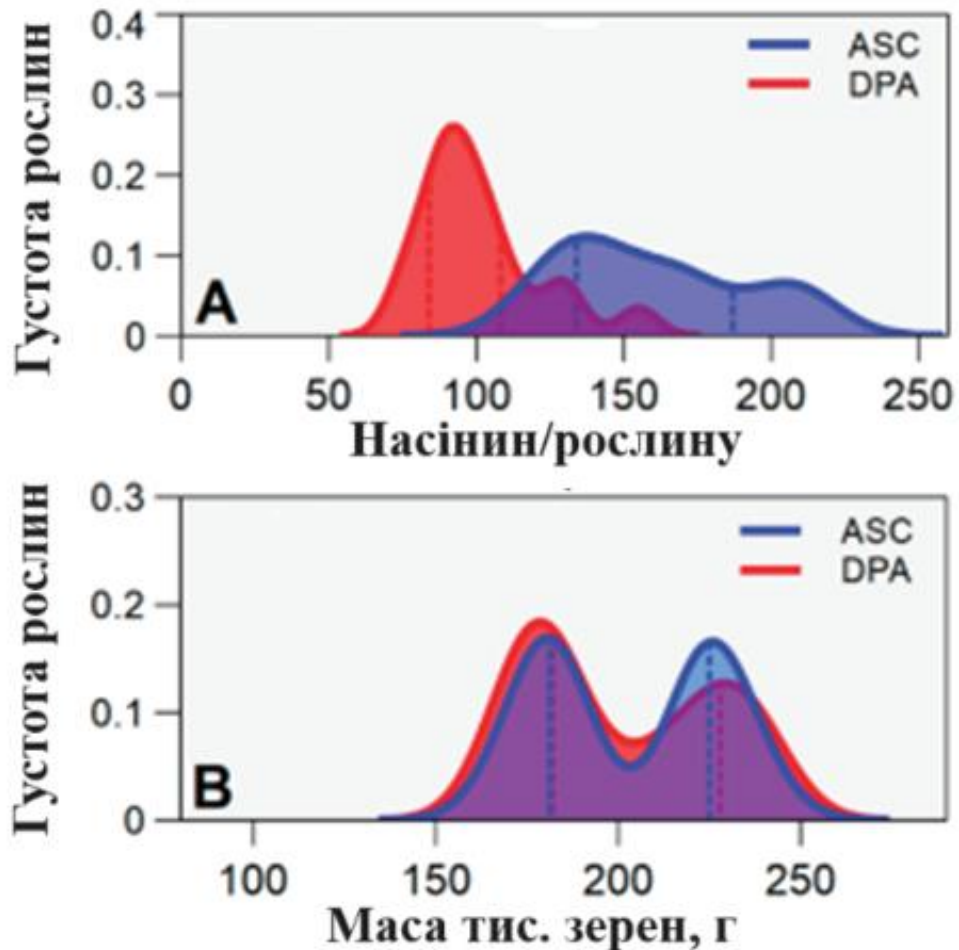


Рис. 5 - (А) кінцева кількість насіння на рослину та (В) маса тисячі насінин для ділянок автоматичного секційного контролю (ASC) і подвійного висіву (DPA). Пунктирні лінії представляють 24 і 74% інтерквартиля відповідно

Використовуючи логарифмічний аналіз, нахили лінійних моделей для кукурудзи (місця 2, 3 і 4) і сої (місця 5, 6 і 7) були протестовані, демонструючи порівняльні ( $p = 0,12$ ) зниження щільності рослин DPA до щільності рослин ASC у міру збільшення густоти рослин ASC (рис. 4).

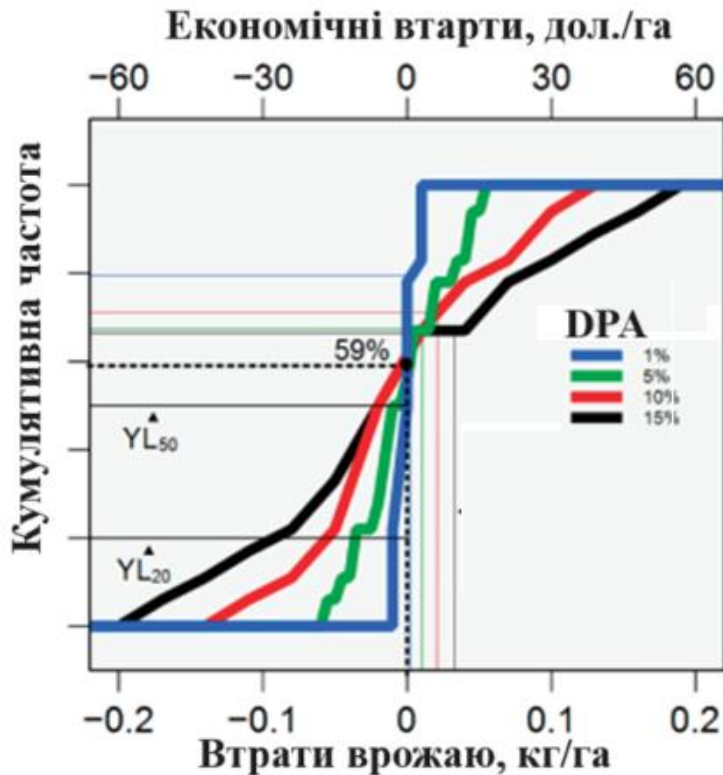


Рис. 6 - Кумулятивний частотний розподіл урожайності та економічних втрат для різниці площ подвійного посіву (DPA) та подвійного посіву (ASC) ( $Yield_{DPA} - Yield_{DPASC}$ ) з урахуванням сценаріїв 1, 5, 10 і 15% DPA. Результати базуються на даних 16 паралельних оцінок.  $YL_{50}$  і  $YL_{20}$  представляють втрату врожаю з 50 і 20% ймовірністю відповідно

#### *Розбір компонентів врожайності сої.*

Щоб зрозуміти вплив DPA на врожайність, було проведено аналіз у масштабах рослин, щоб визначити, як основні компоненти врожайності вплинули на реакцію врожайності.

Для сої DPA не вплинула на врожайність, ймовірно, через компенсацію між SNP і кількістю рослин на одиницю площі (табл. 2). Середній SNP був знижений на 65%, тоді як щільність рослин зросла на 76% для обробки DPA відносно ASC (таблиця 2, рис. 5A), але в цілому TSW не вплинула (таблиця 2, рис. 5B).

Урожайність та економічні втрати на площах з подвійним посівом.

На основі кумулятивного частотного аналізу ймовірність втрати врожаю від DPA була оцінена як 59% для сої (рис. 6). Крім того, абсолютне значення врожайності, при якому ймовірність втрати врожаю дорівнює нулю, становило 4,9 кг/га для сої. За однакового рівня кумулятивної частоти врожайності (наприклад, 20%), соя продемонструвала економічні втрати в розмірі 18, 10, 5 і 2 для 15, 10, 5 і 1% для сценаріїв DPA відповідно (рис. 6).

Це дослідження дає нове уявлення про технологію ASC на сівалках і пропонує можливість точного налаштування оптимальної густоти рослин для підвищення врожайності та зниження експлуатаційних витрат. Польові дослідження показали, що DPA призвело до більшого зниження врожайності кукурудзи, ніж сої. Останнє спостереження могло бути наслідком більшого впливу густоти рослин на врожайність кукурудзи. Генотипові характеристики також можуть відігравати роль у гібридах кукурудзи, які залежать від щільності. Щільність рослин вище агрономічного оптимального рівня, подібно до обробки DPA, призвела до зниження врожайності, як було задокументовано кількома дослідженнями.

Загалом втрата врожаю зростає при надмірному посіві з низькими рівнями врожайності з гібридами, які демонструють нижчу оптимальну густоту рослин порівняно з високоврожайними рівнями.

Таким чином, використання систем ASC могло б окупитися швидшими темпами за нижчого рівня врожайності завдяки перевагам як збільшення врожайності, так і економії насіння. Подібне вірно і для середовищ з більшою кількістю дощів, висока конкуренція між рослинами в таких середовищах з обмеженими ресурсами призвела до значного зниження врожайності порівняно з високими рівнями врожайності. .

Компенсаторна здатність сої впливає на реакцію на густоту рослин, причому незначна реакція на зміни густоти рослини або її відсутність задокументована в широкому діапазоні норм висіву від 70 до 950 тисяч насінин на га.

Дотримуючись цього обґрунтування, низька ймовірність втрати врожайності («постійна тенденція») була передбачена навіть при оцінці на різних рівнях врожайності (4–6М кг/га). Подібним чином нещодавно задокументували відсутність реакції врожайності на густоту рослин зі змінами в реакції врожайності, коли густота рослин була нижчою за 236 тисяч рослин на га і нижче 3,6 кг/га.

Підсумовуючи, відсутність відповіді врожайності на DPA у сої можна пояснити дослідженими вузькими коливаннями врожайності та діапазоном густоти рослин (від 220 000 до 320 000 рослин на га) (рис. 3, 4). Що стосується технології ASC, економічна вигода для виробництва сої пов'язана в першу чергу зі збільшенням прибутку завдяки економії насіння. Таким чином, для виробництва сої очікується відсутність або невеликий потенціал збільшення врожайності за допомогою системи ASC, що узгоджується з висновками.

Таблиця 3 - Підсумкові параметри, оцінені за допомогою шейп-файлів посіву з геоприв'язкою з набору даних 2 для розрахунку посівної площі, площі поля та площі подвійного посіву (DPA) в абсолютних (га) і відносних величинах (%)

Характеристики	Традиційний посів			Посів з ASC		
	Сер.	Мін.	Макс.	Сер.	Мін.	Макс.
Площа, га	2.2	46.8	228	4.0	23.7	50.9
Засіяна площа, га	2.3	49.5	235	4.0	23.9	51.2
DPA, га	0.2	2.7	15.8	0.03	0.2	0.4
Частка DPA, %	1.8	6.3	18.0	0.2	0.8	1,1

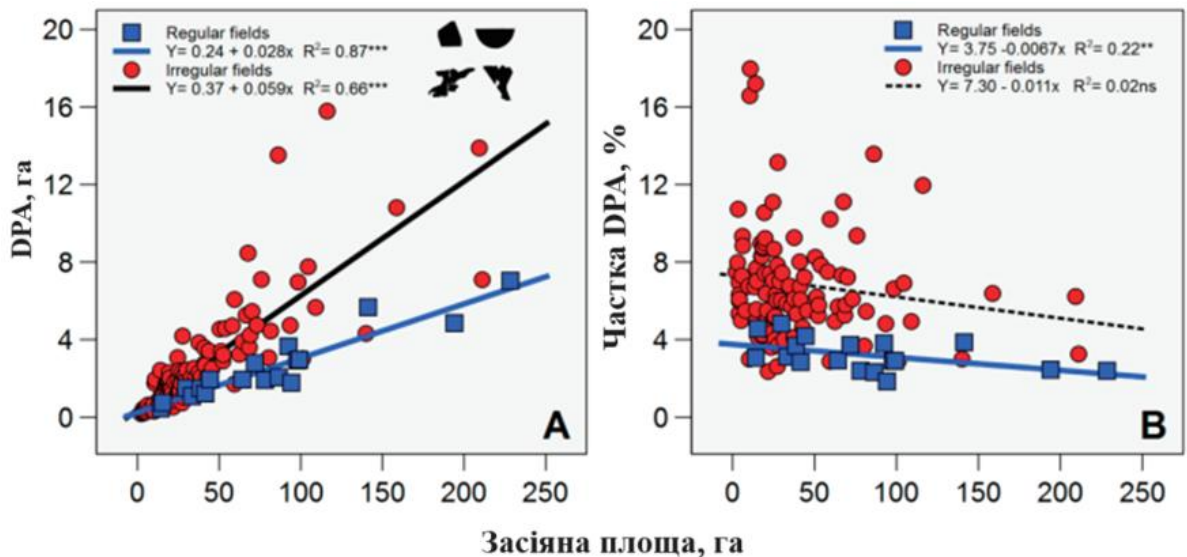


Рис. 7 - (А) Співвідношення між посівною площею (га) і подвійною посівною площею (DPA, га) для простих полів ( $n = 6$ ) і зі складною формою ( $n = 27$ ) полів; (В) між посівною площею (га) і пропорцією DPA для простих полів і зі складною формою

Це дослідження підтверджує це твердження, розуміючи модифікації в SNP і TSW – з подібним TSW, але зрівноважуючи зменшення SNP кількістю рослин у зонах DPA (рис. 5C). Декілька дослідників повідомили, що основний механізм компенсації в рослинах сої пов'язаний з кількістю стручків і насіння на рослину. При низькій щільності рослин більше сухої маси розподіляється на гілки, покращуючи кількість стручків на рослину.

Реакція активується співвідношенням червоного/дальньочервоного світла в кроні на ранніх стадіях, причому більший коефіцієнт викликає розподіл сухої маси на гілки. Таким чином, при низькій густоті рослин більша кількість насіння на рослину компенсує меншу кількість рослин, а при високій густоті відбувається навпаки, що призводить до однакової врожайності в обох випадках.

Економія була стосувалася лише вартості насіння для сої (рис. 6). Розмір і форма поля також були визначені як основні фактори, що впливають на ASC, причому менший розмір поля та більш неправильні форми створюють більше переваг для використання цієї технології. Дослідження

32 полів (набір даних 2) показало середній DPA 5,5% (6,5% від традиційних систем мінус 0,8% від технології ASC) (Таблиця 3). Це значення DPA більше, ніж у звітах, із загальним середнім значенням у межах від 4,3 до 4,6%. Після поділу полів (з DPA) на дві категорії, прості (співвідношення периметр (м)/площа (га) $< 0,03$  і складної форми (співвідношення периметр (м)/площа (га) $\geq 0,01$ ), лише 15% усіх полів були класифіковані як «прості», тоді як 85% мали співвідношення  $\geq 0,03$  і класифікувались як складні (рис. 7).

## ВИСНОВКИ

Ці результати підкреслюють переваги використання цієї технології відповідно до раніше опублікованих досліджень. Для сої в процесі прийняття рішення слід враховувати економічні переваги, враховуючи економію насіння та/або уникнення втрат урожаю на розворотних ділянках через DPA. Нарешті, ці результати підтверджують, що з огляду на реальний сценарій (посівна площа, DPA та врожай), кількість років для оплати ASC є відносно короткою. Наразі ASC стає стандартною технологією для нових сівалок у всьому світі, причому прогнозована вартість зменшується в міру зростання рівня впровадження.

Використання ASC для сівалок підвищило рентабельність культури за рахунок економії насіння сої.

Основними результатами були:

1. Урожайність сої була мало чутливою до DPA через подібну кількість насіння на одиницю площі та TSW;
2. Середня частка DPA в межах полів становила 5,5% від загальної площі; він лінійно зростав із збільшенням посівної площі та для полів неправильної форми, збільшуючи економію для ASC на сівалках.

Майбутні дослідження слід проводити з різними культурами в різних сівозмінах, щоб кількісно оцінити загальні переваги на рівні системи землеробства, потенційно підвищивши прибутковість сільського господарства при зниженні вартості 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-pokaznykiv>.
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. 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.
4. Радіонов Д. Якість висіву соняшнику 94%, або Tempo 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-sonyashnyku-94protsent-abo-tempo-f-sivalka-iaku-potribno-rozumity.html>.
5. 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-vpliv-strokov-ta-norm-visivu-na-urojajnist-sonyashnika>.
6. Сіяти соняшник зі змінною нормою чи ні? Результати дослідів 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/>.
7. 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/11904-yakist-vysivu-sonyashnyku-94protsent-abo-tempo-f-sivalka-iaku-potribno-rozumity.html>.

business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/2355-posiv-soniashnyku-na-mizhriaddia-12-5-sm.html.

8. 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/>.

9. 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.

10. 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>.

11. 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/](https://agrosea.com.ua/UKRNIPVT_POGORILOGO/).

12. 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.

13. 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>.

14. 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/>.

15. 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>.
16. 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/>.
17. Спосіб оцінки точності висіву [Електронний ресурс] / О.Банний, А. Новицький, С. Карабиньощ, Ю. Новицький // Пропозиція, № 5. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://propozitsiya.com/ua/sposib-ocinky-tochnosti-vysivu>.
18. Shannon D., Clay E., Kitchen N. (2018). Precision Agriculture Basics. American Society of Agronomy, Incorporated, 230p.
19. Jupp L. (2018). Precision Farming From Above. Writing Matters Publishing, 113 p.
20. 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.
21. Delta Force [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.precisionplanting.com/products/product/deltaforce>.
22. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. Мельника В. І. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с.
23. Павлюк І. Вимоги охорони праці при проведенні посівних робіт [Електронний ресурс] / І. Павлюк // Охорона праці і пожежна безпека. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://oppb.com.ua/content/vymogy-ohorony-praci-pry-provedenni-posivnyh-robit>.

24. Безпека працівника під час весняно-польових робіт першочергове завдання роботодавця [Електронний ресурс] // Управління держпраці у хмельницькій області. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://km.dsp.gov.ua/news/572-bezpeka-pracvnika-pd-chas-vesnyano-polovih-robt-pershochergove-zavdannya-robotodavcya.html>.

25. Тарельник Н.В. Методичні вказівки до виконання розділу: «Техніко-економічне обґрунтування» магістерської роботи 2м курсу спеціальності 208 Агроінженерія денної і заочної форм навчання . – Суми: СНАУ, 2020. – 26 с.

# Додатки