

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: «Дослідження ефективності застосування елементів системи точного землеробства при посіві сої»

Виконав:

(підпис)

Андрій ПОЛЯКОВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Група:

СТЗ 2402-1м

Науковий керівник:

(підпис)

Анатолій ЛЕБЕДЄВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

(підпис)

Михайло ШУЛЯК

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Рецензент:

(підпис)

В'ячеслав ТАРЕЛЬНИК

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Суми – 2025

АНОТАЦІЯ

Поляков Андрій Олександрович

Дослідження ефективності застосування елементів системи точного землеробства при посіві сої.

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

Випускна кваліфікаційна робота представлена на 45 сторінках машинописного тексту пояснювальної записки, що містить 5 таблиць, 15 рисунків, додатків 2, 25 літературних джерел.

Площа подвійного посіву (DPA), що формується на кінцевих рядах агрегатів під час висіву, є досить поширеним явищем на полях сої та часто призводить до нерівномірності сходів і зниження ефективності використання посівного матеріалу. Наявність таких зон подвійного накладання рядків створює передумови для формування надмірної густоти рослин, що, у свою чергу, може негативно впливати на ріст, розвиток і кінцеву врожайність культури. Економічні втрати, пов'язані з подвоєним висівом, а також прямі втрати врожаю, зумовлені конкуренцією рослин у зонах підвищеної густоти, можуть бути суттєвими. Ці негативні наслідки можна істотно зменшити шляхом застосування технології автоматичного контролю секцій (ASC) на посівних агрегатах, адже ASC дозволяє мінімізувати перекриття та забезпечує більш раціональне використання насіння.

Попри це, досі недостатньо вивчено, як саме показники DPA впливають на фактичну врожайність сільськогосподарських культур за різного потенціалу продуктивності поля. Крім того, на сьогодні не проведено комплексного кількісного аналізу частки DPA на українських

полях, що ускладнює оцінку економічної доцільності модернізації техніки. У цьому дослідженні, використовуючи два незалежні набори даних, ставилися такі основні завдання:

Провести кількісну оцінку втрат врожаю сої, пов'язаних із формуванням зон DPA; визначити обсяг посівної площі, необхідний для окупності інвестицій у систему ASC з урахуванням втрат урожайності, частки подвійного посіву та загальної площі господарства.

Оцінити частку DPA на регіональному рівні, застосувавши польові дані, зібрані на 32 виробничих ділянках, що дозволило сформувати більш узагальнену картину поширення цього явища.

Отримані результати показали, що застосування технології ASC забезпечує відчутні переваги при вирощуванні сої, перш за все завдяки економії посівного матеріалу та зменшенню перекриттів. Водночас результати підкреслюють потребу в подальших поглиблених дослідженнях, які повинні враховувати можливу взаємодію між генотипами культур, особливостями управління полем, системами землеробства та впливом довкілля. Це дозволить більш точно визначити ефективність ASC у різних умовах і забезпечити науково обґрунтовані рекомендації для виробництва.

Ключові слова:.

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

ABSTRACT

Polyakov Andriy Oleksandrovych

Study of the effectiveness of the use of elements of the precision farming system in soybean sowing.

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

The graduation qualification work is presented on 45 pages of typewritten text of the explanatory note, containing 5 tables, 15 figures, 2 appendices, 25 literary sources.

The double sowing area (DPA), which is formed on the end rows of units during sowing, is a fairly common phenomenon in soybean fields and often leads to uneven germination and a decrease in the efficiency of seed use. The presence of such double row overlap zones creates the prerequisites for the formation of excessive plant density, which, in turn, can negatively affect the growth, development and final yield of the crop. Economic losses associated with double sowing, as well as direct crop losses due to plant competition in zones of increased density, can be significant. These negative consequences can be significantly reduced by applying automatic section control (ASC) technology to seeding units, as ASC allows for minimizing overlap and ensures more rational use of seeds.

Despite this, it has not yet been sufficiently studied how exactly DPA indicators affect the actual yield of agricultural crops at different field productivity potential. In addition, a comprehensive quantitative analysis of the share of DPA in Ukrainian fields has not been conducted to date, which complicates the assessment of the economic feasibility of modernizing equipment.

The results obtained showed that the use of ASC technology provides tangible advantages in soybean cultivation, primarily due to saving seed and reducing overlaps. At the same time, the results emphasize the need for further in-depth studies that should take into account the possible interaction between crop genotypes, field management features, farming systems and environmental influences. This will allow to more accurately determine the effectiveness of ASC in different conditions and provide scientifically based recommendations for production.

Keywords: sowing accuracy, double sowing area, automated control system, singulation, rate control.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ..... | 8 |
| Розділ 1. Стан питання і задачі досліджень | 11 |
| 1.1. Аналіз досліджень застосування елементів точного землеробства при посіві..... | 11 |
| 1.2 Агротехнічні вимоги до посіву просапних культур..... | 14 |
| 1.3 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур..... | 19 |
| Розділ 2. Методика досліджень | 28 |
| 2.1 Збір даних про врожайність | 28 |
| 2.2 Статистичний аналіз | 32 |
| Розділ 3. Результати досліджень та їх аналіз | 34 |
| Висновки..... | 42 |
| Список використаних джерел..... | 43 |

ВСТУП

1. Актуальність теми

У сучасних умовах розвитку аграрного сектору точне землеробство набуває особливої значущості як інноваційний підхід до оптимізації технологічних операцій, підвищення ефективності використання ресурсів та зменшення втрат урожаю. Однією з актуальних проблем під час висіву просапних культур, зокрема сої, є формування площ подвійного висіву (Double Planting Area, DPA), що виникають у результаті перекриття посівних секцій на кінцевих рядах. Такі зони призводять до нерівномірності густоти рослин, що суттєво впливає на конкурентні взаємовідносини в агрофітоценозі та може знижувати продуктивність культури.

За умов підвищення вартості насіння, необхідності оптимізації польових операцій та прагнення агровиробників до максимально раціонального використання ресурсів проблема мінімізації перекриттів висіву набуває особливої ваги. Технологія автоматичного контролю секцій (Automatic Section Control, ASC) є однією з ключових складових систем точного землеробства, яка дозволяє автоматично відключати окремі секції сівалки в зонах перекриттів, забезпечуючи точність висіву, економію посівного матеріалу та рівномірність сходів. Однак питання кількісного впливу DPA на врожайність та економічної ефективності впровадження ASC для умов України досі вивчені недостатньо.

Таким чином, дослідження ефективності застосування елементів системи точного землеробства при посіві сої є актуальним з огляду на сучасні тенденції цифровізації агровиробництва, необхідність підвищення рентабельності рослинництва та забезпечення сталого використання ресурсів.

2. Аналіз стану наукової розробки проблеми

Питання впливу точності висіву на формування густоти стояння рослин і кінцеву врожайність культур досліджуються широким колом

вітчизняних та зарубіжних науковців. Значна увага приділяється сингуляції насіння, рівномірності розміщення рослин у рядку, стабільності норми висіву, а також ролі технологічних систем автоматизації, зокрема ASC та систем контролю норми. Окремі роботи висвітлюють вплив перекриттів висіву та подвоєного розміщення насіння на економічні показники виробництва, однак комплексні дослідження, спрямовані на визначення фактичного впливу площ DPA на врожайність в умовах промислових посівів сої, практично відсутні.

Слабо дослідженими залишаються питання кількісної оцінки DPA у виробничих умовах України, визначення їх поширення на рівні поля й регіону, а також встановлення взаємозв'язку між часткою подвійного висіву та потенційною продуктивністю ділянок. Недостатньо вивченими є й економічні аспекти впровадження ASC з урахуванням специфіки різних господарств, що зумовлює потребу в проведенні ґрунтовних аналітичних і експериментальних досліджень.

3. Мета дослідження

Метою дослідження є оцінка ефективності застосування елементів системи точного землеробства, зокрема технології автоматичного контролю секцій, при посіві сої з урахуванням впливу площі подвійного висіву на врожайність та економічні показники виробництва.

4. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процес висіву сої в умовах використання систем точного землеробства.

5. Предмет дослідження

Предметом дослідження є кількісні характеристики площі подвійного висіву, показники точності посіву та їх вплив на врожайність і економічну ефективність застосування ASC.

6. Завдання дослідження

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати сучасні наукові дослідження щодо застосування елементів точного землеробства при висіві просапних культур.
2. Провести збір та обробку польових даних врожайності для встановлення залежності між показниками DPA та продуктивністю.
3. Виконати статистичний аналіз даних для визначення ступеня впливу подвійного висіву на врожайність.
4. Оцінити частку площ DPA у виробничих умовах та визначити економічну ефективність застосування ASC.

7. Методи дослідження

У роботі застосовано комплекс методів: аналіз і синтез наукових джерел; статистичний аналіз польових даних; кореляційно-регресійне моделювання; методи збирання та систематизації інформації з польових експериментів; графічні методи візуалізації результатів.

8. Структура та обсяг роботи

Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний текст викладено на 45 сторінках машинопису, містить 5 таблиць, 15 рисунків, 2 додатки та 25 використаних літературних джерел.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Вплив загущеності посівів на врожайність сої

У сучасному аграрному виробництві підвищення врожайності залишається одним із головних пріоритетів як для виробників, так і для науковців, особливо з огляду на безперервне зростання світового попиту на стратегічні культури, зокрема сою. Одним із методів, що викликає значний інтерес, є подвійний висів — технологічний прийом, коли насіння розміщують у ґрунті з більшою, ніж звичайно, щільністю шляхом часткового перекриття або чергування строків сівби протягом одного вегетаційного періоду. Такий підхід використовують у різних агротехнологічних системах для підвищення продуктивності земельних ресурсів, проте його вплив на урожай сої досі залишається неоднозначним і потребує глибшого наукового аналізу.

Соя є провідним джерелом рослинного білка та олії у світовому масштабі, а її врожайність визначається багатьма факторами, серед яких — густота стояння рослин, ширина міжрядь, доступність елементів живлення та кліматичні умови. Подвійний висів, як правило, здійснюється шляхом проміжного підсіву або зміщення строків висіву на одній ділянці, що формує густий зелений покрив і посилює змагання між рослинами за ресурси. Хоча такий підхід потенційно здатний збільшити загальний урожай завдяки ефективнішому використанню площі та кращому перехопленню сонячного випромінювання, він водночас створює конкуренцію за вологу, поживні речовини й світло, що може знижувати продуктивність окремих рослин. Підсумковий результат залежить від рівноваги між позитивними взаємодіями, як-от посилення фотосинтезу та збільшення площі листя, і негативними, пов'язаними з посиленням боротьби за обмежені ресурси.

Результати сучасних експериментальних досліджень свідчать про різноманітність ефектів подвійного висіву на врожай сої. У деяких випадках спостерігається помірне підвищення урожайності, особливо за умов

достатньої кількості вологи та родючого ґрунту. У таких ситуаціях збільшена листкова поверхня сприяє кращому перехопленню сонячної енергії та активнішому фотосинтезу, що забезпечує більшу біомасу й, відповідно, вищий вихід стручків та насіння з одиниці площі. Водночас у стресових умовах — за посухи, дефіциту поживних речовин або підвищеного тиску шкідників — переваги густішого висіву можуть зменшуватися. У таких випадках конкуренція за життєво важливі ресурси між окремими особинами посилюється настільки, що потенційний приріст урожайності нівелюється зниженням продуктивності кожної окремої рослини.

Крім агротехнічних параметрів, важливе значення мають біологічні та морфологічні особливості сортів сої, які визначають їхню здатність адаптуватися до підвищеної густоти стояння. Детерміновані сорти, як правило, краще переносять збільшення кількості рослин на площі, оскільки їхня компактна архітектура забезпечує рівномірний розподіл світла та ефективніше використання поживних елементів. Індетермінантні різновиди, навпаки, можуть зазнавати надмірного затінення, що знижує формування стручків і призводить до зменшення загальної продуктивності. Сучасна селекційна робота спрямована на створення сортів із вдосконаленою формою росту, підвищеною стійкістю до хвороб і посухостійкістю, що дозволяє ефективніше використовувати системи з високою густрою висіву. Проте питання адаптації таких сортів до різноманітних екологічних умов залишається складним і потребує подальших комплексних досліджень.

З екологічного погляду застосування подвійної посадки може спричиняти як позитивні, так і потенційно небажані наслідки. У місцевостях, де кількість опадів є достатньою, підвищена густина висіву здатна поліпшити утримання вологи в ґрунтовому шарі завдяки щільнішому рослинному покриву, який знижує інтенсивність випаровування води та мінімізує процеси ерозії. Водночас у зонах, де спостерігається нестача

водних ресурсів, надмірна конкуренція між рослинами за обмежену вологу може посилити вплив посушливих умов, що, своєю чергою, призводить до зменшення потенційної урожайності культур.

Окрім того, підвищена щільність посівів часто створює сприятливі умови для розвитку шкідників і збудників хвороб, які поширюються значно швидше в загущених насадженнях. Це потребує ретельнішого моніторингу фітосанітарного стану посівів та регулярного застосування захисних заходів. Однак часті обробки пестицидами можуть викликати небажані екологічні ефекти, зокрема забруднення ґрунту й водних екосистем, а також збільшити витрати виробництва, що впливає на економічну ефективність технології подвійного посіву.

З погляду управління живленням культур, особливо азотом, така система вирощування створює додаткові вимоги до ґрунтових ресурсів. Азот є ключовим елементом для активного росту сої, формування листової маси й закладання стручків. Хоча соєві рослини здатні самостійно фіксувати атмосферний азот за допомогою бульбочкових бактерій на коренях, надмірна густота може знижувати ефективність цього процесу через конкуренцію кореневих систем, що обмежує розвиток бульбочок і зменшує доступність азоту для рослин.

Наукові спостереження свідчать, що застосування помірних доз мінерального азоту на певних етапах росту може частково компенсувати нестачу поживних речовин, проте такий підхід повинен враховувати як економічні витрати, так і можливі екологічні наслідки надмірного удобрення.

Отже, технологія подвійного посіву сої поєднує в собі як значні переваги, так і певні виклики щодо підвищення продуктивності. Теоретично щільніші посіви сприяють ефективнішому використанню земельних ресурсів, однак кінцеві результати значною мірою залежать від сукупності факторів — кліматичних умов, агротехнічних прийомів, родючості ґрунтів та властивостей конкретних сортів сої.

Подальші експериментальні дослідження, спрямовані на вдосконалення методів управління ґрунтовим середовищем, вибір оптимальних сортів і регулювання режиму зрошення, мають важливе значення для підвищення ефективності подвійної посадки. Систематичне вивчення таких технологій може стати основою для розвитку більш екологічно збалансованих і стійких моделей землеробства, що дозволить збільшити врожай без завдання шкоди довкіллю.

1.2 Агротехнічні вимоги до посіву сої

Боби сої належать до найважливіших у світі культур, що поєднують високу олійність і білкову цінність. Вони відіграють ключову роль у розвитку аграрного сектору багатьох держав, формуючи істотну частку продовольчої безпеки та забезпечуючи людей і тварин важливими поживними речовинами. Раціональне та результативне вирощування сої ґрунтується на комплексі агротехнічних заходів, які сприяють гармонійному росту рослин, високій урожайності та стабільній якості насіння. У цьому рефераті здійснено узагальнення основних вимог до агротехніки вирощування сої, включаючи підготовку посівного ложа, правильне розміщення у сівозміні, відбір сортового насіння, вибір строків і густоти висіву, а також методів обробітку ґрунту. Виконання цих вимог є запорукою максимальної продуктивності, екологічної стійкості та ефективності соєвого виробництва.

Початок успішного вирощування культури залежить від ретельної підготовки посівного ложа. Цей процес охоплює різні способи обробітку ґрунту, які створюють сприятливі умови для проростання насіння та розвитку кореневої системи. Посівне ложе повинно бути добре вирівняним, ущільненим і очищеним від великих грудок, каміння чи решток, що можуть перешкоджати рівномірній глибині висіву та дружним сходам. Зазвичай підготовка включає основний і передпосівний обробіток. Основний обробіток, наприклад оранка, сприяє зароблянню поживних решток,

знищенню бур'янів і поліпшенню аерації, тоді як додатковий обробіток забезпечує якісне вирівнювання поверхні поля та покращує контакт насіння з ґрунтом.

У технологіях мінімального чи нульового обробітку важливу роль відіграють покривні культури й належне управління рештками попередників. Це допомагає підтримувати родючість і біологічну активність ґрунту, поліпшує водоутримувальну здатність, а також запобігає ерозійним процесам. Зменшення інтенсивності механічного впливу на ґрунт сприяє збереженню його структури, біоти та мікроорганізмів, що забезпечують кругообіг поживних елементів і природне пригнічення патогенів.

Сівозміна є невід'ємним елементом ефективної агротехнології вирощування сої. Вона впливає на підтримання родючості, зменшує ризики поширення хвороб і шкідників, а також покращує екологічний баланс агроєкосистем. Найчастіше сою вирощують у чергуванні з кукурудзою, пшеницею чи ячменем, що дозволяє розірвати цикли розвитку шкідливих організмів і мінімізувати потребу у хімічних засобах захисту. Завдяки здатності сої до симбіотичної фіксації азоту в ґрунті, чергування її з культурами, які потребують цього елемента, сприяє покращенню поживного балансу. Крім того, систематична ротація культур допомагає підтримувати оптимальну структуру ґрунту та збільшувати вміст органічної речовини, адже кожна культура по-своєму впливає на фізико-біологічні властивості ґрунту. Це забезпечує стабільність агроєкосистем і підвищує довгострокову ефективність виробництва.

Якісне насіння відіграє ключову роль у забезпеченні рівномірного проростання культур і формуванні високого врожаю. Під час вибору посівного матеріалу слід враховувати низку важливих чинників, серед яких швидкість появи сходів, ступінь очищення, сортові особливості, а також імунітет до основних шкідників і патогенів. Вибір сорту, що найкраще пристосований до кліматичних умов конкретної місцевості —

температурного режиму, вологості ґрунту та повітря — сприяє підвищенню стійкості рослин і збільшенню продуктивності посівів. Для збереження генетичної автентичності та високої якості врожаю доцільно використовувати сертифікований посівний матеріал, який проходить ретельний контроль у спеціалізованих лабораторіях. Додатково насіння сої часто обробляють інокулянтами з бактеріями роду *Rhizobium*, що стимулюють процес фіксації атмосферного азоту та сприяють активнішому росту рослин. У районах, де поширені хвороби або велика кількість шкідників, насіння перед висівом доцільно обробляти фунгіцидами чи інсектицидами для підвищення стійкості на ранніх етапах розвитку культури.

Вибір найсприятливішого періоду сівби є вирішальним фактором для подовження вегетаційного сезону, створення належних умов вологості й температури, а також для зменшення впливу хвороб і шкідників. Найчастіше сою висівають навесні, коли температура ґрунту стабільно тримається в межах 10–15 °C (50–60 °F), адже саме цей температурний діапазон забезпечує швидке проростання насіння й активний початковий ріст. Надто пізня сівба може негативно вплинути на врожай, оскільки рослини потрапляють під дію несприятливих погодних умов у критичні фази розвитку. Водночас занадто раннє висівання несе ризики пошкодження сходів заморозками. Отже, аграрії мають ретельно враховувати місцеві кліматичні особливості, щоб визначити найоптимальніший строк посіву. Крім того, різні сорти сої мають власні часові інтервали для висіву, що залежать від фотоперіодичної реакції та належності до певної групи стиглості.

Густота стояння рослин і ширина міжрядь істотно впливають на рівень урожайності сої. Оптимальна кількість рослин на гектар зазвичай варіює від 200 000 до 500 000 залежно від клімату, родючості ґрунту та ширини міжрядь. Висока густота є доцільною для низькорослих сортів або в регіонах із коротким вегетаційним періодом, оскільки сприяє швидшому

змиканню листкового покриву, зменшенню кількості бур'янів і кращому засвоєнню сонячного світла. Натомість нижча щільність підходить для ділянок із високою родючістю або довготривалим вегетаційним сезоном, що забезпечує розвиток потужнішої вегетативної маси. Міжряддя найчастіше становлять 30–50 см, проте нині все більшого поширення набувають вузькорядні схеми, які сприяють швидшому закриттю поверхні поля, знижують конкуренцію з бур'янами та потенційно підвищують урожайність. Раціональне розміщення рослин забезпечує ефективніше використання природних ресурсів — світла, води та поживних речовин.

Для повноцінного розвитку сої необхідне збалансоване живлення, зокрема забезпечення достатньої кількості азоту, фосфору, калію та важливих мікроелементів — цинку, заліза, молібдену тощо. Соя має здатність до фіксації азоту завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями, однак на початковому етапі розвитку потребує стартової дози цього елемента. Фосфор відповідає за формування кореневої системи й передачу енергії, тоді як калій покращує процес фотосинтезу та підвищує опірність до хвороб. Перед початком посівної кампанії доцільно провести агрохімічний аналіз ґрунту, щоб оцінити запаси поживних речовин і скоригувати дозу добрив. У районах із низьким рівнем органічної речовини корисним є внесення органічних матеріалів, зокрема компосту або перепрілого гною, які покращують структуру ґрунту та його родючість. Добрива слід застосовувати відповідно до виявлених потреб, дотримуючись принципів ощадливого та екологічно безпечного землеробства, аби запобігти вимиванню елементів живлення й забрудненню довкілля.

Раціональна система контролю бур'янів, шкідників і хвороб становить невід'ємну частину ефективної технології вирощування сої. Наявність бур'янів створює серйозну конкуренцію культурі за вологу, поживні речовини та світло, що може суттєво зменшити потенційний урожай. Для досягнення найкращих результатів доцільно застосовувати комплексний підхід, який об'єднує механічні, агротехнічні та хімічні

методи контролю. Особливе значення має своєчасне знищення бур'янів на початкових етапах розвитку, коли соя найбільш вразлива до негативного впливу конкуренції за ресурси.

Система захисту від шкідників базується на постійному моніторингу основних видів, таких як соєва попелиця, листоїд kwasолі чи різні типи нематод. Застосування інсектицидів виправдане лише тоді, коли чисельність шкідників перевищує економічний поріг шкодочинності, що дозволяє уникнути зайвого хімічного навантаження на екосистему. Для мінімізації втрат від хвороб ефективним є висівання стійких сортів, дотримання сівозміни, а також за потреби – використання фунгіцидів. Серед основних хвороб сої найпоширенішими є соєва цистоподібна нематода, різні форми кореневої гнилі та бактеріальний опік. Попередити їх розвиток допомагає комплекс профілактичних заходів і своєчасне реагування на перші ознаки зараження.

Соя потребує постійного водопостачання для повноцінного росту та формування врожаю, особливо у фазі цвітіння та наливу зерна. Хоча природні опади нерідко забезпечують необхідний рівень вологи, у зонах із нестабільними кліматичними умовами доцільним є впровадження систем штучного зрошення. Для різних господарств можуть бути ефективними різні технології подачі води — від поверхневого поливу до спринклерних установок чи крапельного зрошення, вибір яких залежить від клімату, площі поля та доступності водних ресурсів. Високий ефект забезпечує впровадження систем контролю вологості ґрунту, а також технологій збереження вологи, що сприяє підвищенню ефективності використання води та зменшенню ризику посухового стресу, який істотно впливає на урожайність і якісні показники насіння.

Дотримання основних вимог до агротехніки сої є вирішальним чинником для формування стабільно високих урожаїв і забезпечення екологічної стійкості виробництва. Раціональне управління всіма складовими процесу — від підготовки посівного ложа, вибору сорту та

строків посіву до регулювання густоти, підтримання родючості ґрунту й ефективного захисту від шкідливих організмів — дозволяє підвищити продуктивність і покращити якість соєвих бобів. Крім того, така система сприяє оздоровленню ґрунтового середовища та більш ощадливому використанню природних ресурсів. З огляду на зростання попиту на соєву продукцію та актуальність екологічних викликів, подальше вдосконалення технологій вирощування й запровадження найкращих агрономічних практик залишатимуться ключовим напрямом розвитку сучасного землеробства.

1.3 Застосування елементів точного землеробства при посіві сої

Система автоматичного контролю секцій (ASC) у посівній техніці є важливим досягненням у сфері точного землеробства, що спрямоване на підвищення ефективності процесу висіву, скорочення втрат ресурсів і збільшення продуктивності полів. Технологія ASC забезпечує індивідуальне керування секціями сівалки, дозволяючи їм самостійно активувати або зупиняти висівання насіння на окремих ділянках поля — наприклад, на розворотах, у зонах, де вже виконано посів, або на територіях складної форми. Такий рівень автоматизації допомагає уникнути надлишкового висіву, знижує витрати на насіння, добрива й інші матеріали, а також зменшує негативний вплив на довкілля завдяки обмеженню надмірного використання хімічних засобів. Технологія ASC, що застосовується в різних моделях сівалок, базується на використанні супутникової навігації GPS, набору датчиків і сучасних алгоритмів, які забезпечують точне та повністю автоматизоване керування роботою секцій.

Основу функціонування ASC становить глобальна система позиціонування GPS, яка дає змогу в реальному часі точно визначати місце розташування посівної техніки на полі. Завдяки навігаційним можливостям GPS сівалка може працювати у заздалегідь спланованих межах, автоматично розпізнаючи конфігурацію ділянок, межі, водостоки, ухили

або зони з низькою продуктивністю. Така просторово орієнтована робота дозволяє уникнути накладань і пропусків під час висіву, особливо у крайових частинах поля, при поворотах або на криволінійних ділянках. Кожна секція сівалки з'єднана із GPS-керованою системою ASC, яка на основі геопросторової інформації вмикає чи вимикає роботу секцій у потрібний момент. Це забезпечує автоматичне регулювання процесу висіву під час кожного проходу, гарантує раціональне розміщення насіння й усуває потребу у ручному керуванні.

Ключову функцію в роботі системи ASC виконують датчики, що додають додатковий рівень точності та гнучкості. Вони постійно відстежують параметри поля й регулюють норми висіву відповідно до умов у реальному часі. Так, оптичні сенсори здатні оцінювати густоту рослинності або стан поверхневого шару ґрунту, тоді як датчики потоку визначають швидкість подачі насіння в кожній окремій секції. Безперервне узгодження роботи секцій із поточними польовими змінами гарантує рівномірний розподіл насіння, навіть коли ґрунтові умови змінюються в межах однієї ділянки. Поєднання функцій датчиків із GPS-навігацією значно підвищує точність роботи ASC, скорочує надлишкове використання насіння та запобігає його перевитратам. Така високоточна координація сприяє економії матеріальних ресурсів і водночас створює оптимальні умови для рівномірного проростання культур, що зрештою позитивно впливає на загальну врожайність і стабільність посівів.

Алгоритмічне підґрунтя технології ASC забезпечує можливість ухвалення рішень у реальному часі навіть за мінливих умов роботи в полі. Удосконалене програмне забезпечення аналізує інформацію з GPS-приймачів, різних сенсорів і попередньо створених карт полів, щоб точно визначити момент активації або вимкнення кожної окремої секції. Такі обчислювальні алгоритми здійснюють перерахунок команд висіву за частки секунди, що дозволяє машині миттєво реагувати на зміни рельєфу, межі поля чи появу перешкод.

Застосування алгоритмів змінної норми висіву (VRS) становить ключовий елемент системи ASC, оскільки вони дають змогу техніці автоматично змінювати кількість висіяного матеріалу відповідно до рівня родючості ґрунтів, вологості, структури ділянки та інших локальних факторів. Така адаптивна поведінка дає змогу сільськогосподарським машинам, оснащеним ASC, ефективно працювати навіть на складному рельєфі та забезпечувати найвищу продуктивність під час проведення посівних робіт із варіюванням норми висіву.

Існує кілька типів конфігурацій ASC, які розроблено з урахуванням масштабу господарства й специфіки агротехнологічних операцій. Для дрібних фермерських господарств передбачено однорядні або багаторядні версії систем, що становлять економічно виправдане рішення, дозволяючи суттєво зменшити витрати насіння та підвищити точність виконання робіт. Такі системи відзначаються простішою конструкцією, однак є практичними і функціональними для господарств із нескладною структурою посівних площ. Натомість для великих агропідприємств, що працюють у складних польових умовах, пропонуються більш потужні та технологічно насичені варіанти ASC, здатні контролювати велику кількість секцій одночасно. Розширені системи часто включають підтримку змінної швидкості руху, інтегровану аналітику в режимі реального часу та можливість віддаленого контролю через мобільні додатки чи хмарні сервіси. Завдяки цьому користувачі можуть стежити за станом секцій, нормою висіву та загальними показниками продуктивності, перетворюючи ASC на комплексну систему управління не лише процесом посіву, а й усього циклу аграрних даних.

Одним із найінноваційніших напрямів розвитку ASC є її взаємодія з іншими елементами точного землеробства, зокрема з технологіями аналітики даних, машинного навчання та Інтернету речей (IoT). Наприклад, інформацію, отриману під час роботи системи ASC, можна опрацьовувати для виявлення закономірностей у точності посіву, витраті насіння чи стані

грунтів. Такі висновки дають змогу вдосконалювати майбутні агротехнологічні стратегії або оптимізувати внесення добрив. Алгоритми машинного навчання поступово стають невід’ємною складовою ASC — вони прогнозують найефективніші схеми висіву та коригують параметри посіву, спираючись на історичні дані та поточні екологічні зміни. Використання IoT-технологій дозволяє системам ASC взаємодіяти з іншими видами сільськогосподарської техніки та цифровими платформами, утворюючи інтегровану екосистему точного землеробства, яка оптимізує увесь ланцюг робіт — від підготовки поля й висіву до моніторингу росту культур і збору врожаю.

Переваги впровадження технології ASC охоплюють набагато ширше коло аспектів, ніж лише підвищення ефективності виробничих процесів чи скорочення витрат. Вона має значний потенціал у зміцненні екологічної стійкості сільського господарства. Завдяки скороченню кількості насіння, мінеральних добрив і засобів захисту рослин, що застосовуються під час посіву, система допомагає істотно зменшити екологічний слід аграрного виробництва. Окрім того, мінімізуються надлишкові висіви та зменшується ризик вимивання поживних речовин, які часто стають причиною евтрофікації водойм. Висока точність посіву сприяє оздоровленню ґрунту, знижуючи його ущільнення й покращуючи розвиток кореневої системи рослин. Це, у свою чергу, забезпечує краще поглинання вологи та зменшує небезпеку ерозійних процесів. Таким чином, ASC виступає важливим інструментом реалізації принципів сталого землеробства, гармонійно поєднуючи економічні вигоди з екологічною відповідальністю у сучасних агротехнологіях.

Сьогодні автоматичний контроль секцій (ASC) набув великого поширення у практиці точного землеробства завдяки своїй здатності оптимізувати роботу сівалок і систем внесення матеріалів у полі. Керуючи активацією та вимкненням окремих секцій сівалки, система забезпечує зменшення перевитрат насіння, запобігає небажаним перекриттям і сприяє

більш точному дотриманню схеми висіву. Одним із ключових напрямів її дослідження є вплив на площі подвійного посіву (DPA), які з'являються у місцях перетину рядків — наприклад, під час поворотів або на межах поля. Подвійне висівання на окремих ділянках часто призводить до зменшення врожайності через посилену конкуренцію рослин за ресурси, що в підсумку знижує загальний рівень продуктивності та прибутковості культури. У цій роботі розглянуто, як технологія ASC впливає на формування DPA, підвищуючи рівномірність посівів, покращуючи використання ресурсів і зменшуючи ризики надлишкових перекриттів.

Принцип роботи ASC базується на використанні супутникових даних GPS, які дозволяють керувати секціями сівалки у режимі реального часу. Система автоматично вмикає або вимикає окремі секції, коли вони проходять над уже засіяними ділянками, запобігаючи повторному висіванню насіння. Це особливо актуально під час проходів по краях полів, на ділянках із нерегулярними контурами та при здійсненні розворотів. Із розвитком технологій розпізнавання вже оброблених зон точність ASC значно зросла, що позитивно впливає на однорідність урожаю. DPA, своєю чергою, знижує продуктивність, оскільки надмірна густота стояння культурних рослин спричиняє конкуренцію за світло, вологу та поживні речовини. При цьому витрати на насіння зростають, а прибуток може зменшуватися через повільніше зростання та зниження якості зерна або плодів. Таким чином, точність системи ASC допомагає уникнути подібних втрат, обмежуючи ненавмисні перекривання під час посіву.

Наукові дослідження свідчать, що застосування ASC значно підвищує ефективність використання ресурсів. Зменшення DPA забезпечує раціональне використання насіння, добрив і пестицидів, що є важливим чинником економії. Без застосування автоматичного контролю сівалка може повторно засівати ті самі ділянки — особливо поблизу країв або на полях неправильної форми, утворюючи зони неефективного росту. Надмірна густота сприяє нерівномірному розвитку рослин, що призводить до варіацій

у їх висоті, площі листя та біомасі. Наприклад, через затінення нижніх рослин зменшується інтенсивність фотосинтезу, що негативно впливає на врожайність. Забезпечуючи оптимальне розміщення насіння відповідно до заданого плану поля, ASC створює сприятливі умови для максимального реалізування потенціалу росту кожної рослини. Додатково ця технологія дозволяє знизити загальну витрату посівного матеріалу, висіваючи його лише у визначених точках, що є особливо вигідним для великих агропідприємств.

Вплив ASC на зони DPA не обмежується економічними вигодами чи зростанням урожайності — він також має важливе екологічне значення. У контексті точного землеробства ключову роль відіграють раціональне використання ресурсів та зниження надлишкових витрат. Перекривання рядків під час висіву або внесення добрив спричиняє вимивання поживних речовин, що часто стає джерелом забруднення навколишнього середовища. Завдяки зменшенню подвійних зон висіву технологія ASC допомагає обмежити втрати поживних речовин і знизити негативний вплив на екосистеми. Крім того, менша густина посіву зменшує потребу у воді, адже рослини не конкурують за вологу на одиницю площі. Це особливо важливо для регіонів із дефіцитом водних ресурсів, де використання ASC може стати складовою стратегії водозбереження та підвищення ефективності агровиробництва.

Впровадження технології ASC істотно впливає на робочу силу ферми та ступінь зносу сільськогосподарського обладнання. Хоча ручне управління секціями є технічно можливим, воно часто виявляється складним для точного виконання, особливо на великих площах із нерівномірною конфігурацією та складним рельєфом. Завдяки автоматизації цього процесу ASC не лише підвищує точність посіву, але й значно зменшує фізичне навантаження на оператора, а також ймовірність помилок, що робить систему більш привабливою для сучасних аграрних операцій. Зниження кількості випадків подвійного посіву (DPA) також

зменшує механічне навантаження на сівалки, оскільки насіння рідше накладається в однакових зонах. Це зменшення стресу для техніки сприяє збільшенню терміну експлуатації сівалок та зменшенню витрат на технічне обслуговування, що робить ASC цінним інструментом не лише для забезпечення точного посіву сьогодні, а й для довгострокових вкладень у обладнання.

З економічної точки зору, вплив ASC на DPA легко піддається кількісному аналізу. Зважаючи на високу вартість насіння, добрив та інших ресурсів, рентабельність інвестицій (ROI) у технологію ASC може бути значною, особливо якщо мінімізується подвійний посів, що критично для культур, чутливих до густоти рослин. Наприклад, кукурудза та соя мають високу залежність від правильного розташування рослин, і навіть невелике перекриття посівів може суттєво знизити врожайність. ROI від використання ASC у таких випадках проявляється як у підвищенні продуктивності завдяки рівномірнішому розташуванню рослин, так і в прямій економії на насінні. Незважаючи на те, що первісні витрати на систему можуть здатися значними, більшість фермерів вважають, що скорочення DPA та зростання продуктивності разом із зменшенням витрат на ресурси окуповують інвестиції вже протягом кількох посівних циклів.

Крім цього, ASC надає можливості для точного картографування посівів і стратегічного планування майбутніх полів. Використовуючи інструменти збору даних, інтегровані в сучасні системи, фермери можуть відслідковувати випадки подвійного посіву та інші неефективності, отримуючи повне розуміння стану полів і зон, які потребують коригування. Наприклад, ділянки з повторюваними DPA можна виділити для перепланування у наступних сезонах. Збір та аналіз подібних даних дозволяє поступово удосконалювати стратегії посіву, підвищуючи ефективність роботи та сталий розвиток господарства.

Підсумовуючи, ASC відіграє ключову роль у мінімізації подвійного посіву, оптимізуючи використання ресурсів, зменшуючи конкуренцію між

рослинами та підвищуючи потенційну врожайність. Завдяки точності, забезпеченій GPS, технологія знижує втрати насіння, сприяє ефективному застосуванню ресурсів і підтримує екологічно стійкі підходи у землеробстві, зменшуючи надлишкові витрати та вплив на навколишнє середовище. Для фермерів скорочення ДРА означає не лише миттєву фінансову вигоду від економії матеріалів, але й довгострокові переваги у стабільності врожайності та управлінні полями. Оскільки технологія ASC продовжує вдосконалюватися, її значення у мінімізації подвійного посіву підкреслює важливість точного землеробства, де ефективність, стійкість та прибутковість гармонійно поєднуються для успішного розвитку рослинництва.

Водночас, впровадження ASC супроводжується певними труднощами. Початкові витрати на налаштування та інтеграцію системи можуть бути високими для невеликих фермерських господарств, а для ефективного використання потрібні знання щодо калібрування GPS, налаштувань сенсорів та програмного забезпечення. Проте державні субсидії, аграрні кооперативи та нові доступні рішення ASC допомагають зменшити ці бар'єри. Постійний розвиток технології спрощує користувацький інтерфейс та пропонує масштабовані опції, що дозволяють фермерам починати з базових функцій і поступово розширювати їх у міру набуття досвіду роботи з системою.

Перспективи розвитку технології ASC виглядають надзвичайно обнадійливими, оскільки тривають активні дослідження та вдосконалення, спрямовані на підвищення її доступності для користувачів, точності функціонування та зручності експлуатації. Очікується, що інтеграція досягнень у сфері штучного інтелекту та машинного навчання надасть системі ASC нові можливості, дозволяючи застосовувати прогностичні стратегії посіву. Це дасть змогу в режимі реального часу коригувати схеми розміщення насіння відповідно до змін погодних умов, загроз від шкідників та рівня вологості ґрунту. Завдяки таким інноваціям ASC має потенціал

стати ключовим інструментом у точному землеробстві, трансформуючи класичні методи посіву у високоефективні процеси, керовані даними. Використання цієї технології не лише підвищує врожайність та економічну ефективність фермерських господарств, а й сприяє формуванню більш стійкої та екологічно збалансованої сільськогосподарської системи на глобальному рівні.

У наукових джерелах можна знайти кілька досліджень, присвячених технологіям ASC як засобу зменшення площі перекриття при роботі посівних машин, при цьому більшість таких робіт проводилась у США. Наприклад, у штаті Алабама було зафіксовано середній показник DPA на рівні 4,3% від загальної площі посівів.

Для українських умов поки що не проводились систематичні дослідження щодо середнього відсотка DPA на полях та його впливу на врожайність сільськогосподарських культур. Тому основними завданнями нашого дослідження були: на основі двох наборів даних оцінити втрати врожаю сої через DPA та визначити площу посівів, при якій інвестиції в системи ASC будуть економічно виправданими.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Збір даних про врожайність

У даному дослідженні застосовувалися дані з двох різних наборів. Перший (набір даних 1) ґрунтувався на польових експериментах і слугував для кількісного аналізу впливу величини площі перекриття (DPA) на врожайність сої. У цьому випадку проводилося порівняння посівних варіантів з використанням системи ASC та без неї. Крім того, визначалася мінімальна посівна площа, необхідна для економічної доцільності застосування ASC при оснащенні ними сівалок. Другий набір даних (набір даних 2) складався з геоприв'язаних показників засіяних площ, зібраних на 24 різних полях, і використовувався для розрахунку частки DPA у відношенні до загальної площі посівів.

Протягом вегетаційних сезонів 2024–2025 років було проведено 16 польових експериментів, у ході яких отримано дані щодо врожайності сої. Усі дослідники виконувалися за допомогою сівалок, обладнаних системами ASC.

Посівні роботи на полях здійснювалися тракторами, оснащеними системами автоматичного керування, які використовували сигнали глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) із диференційними поправками в режимі реального часу (*Real Time Kinematic, RTK*). Ці поправки надходили від базових станцій, розташованих на території кожного агропідприємства. У більшості випадків, окрім поля 3, використовували систему *Evolution RTK*, тоді як на полі 3 застосовувався *StarFire RTK* від компанії John Deere.

Щороку на тестових ділянках оцінювали дві технологічні обробки, розміщені у кінцях рядків біля поворотних смуг: без перекриттів завдяки активованому індивідуальному контролю рядів у системі ASC та з

перекриттями (DPA) на торцевих рядках, які виникали при вимкненій системі (рис. 1).

Посів здійснювався сівалкою марки *Princesa*, оснащеною секційним контролем *Stara* та висівним апаратом *vSet*.

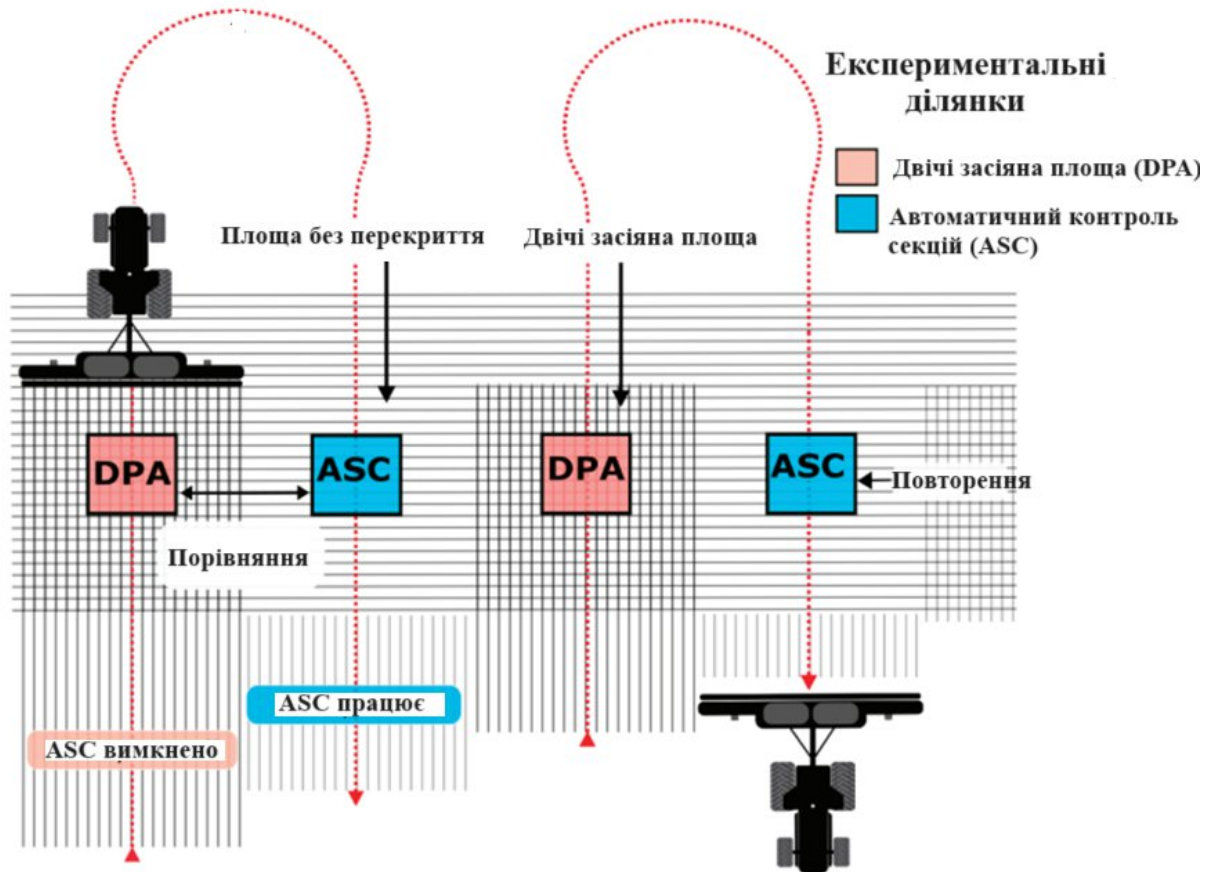


Рис. 1 - Схема та розташування експериментальної ділянки з площами подвійного посіву (DPA) та без пересіву за допомогою використання автоматичного секційного контролю (ASC) (набір даних 1)

Гони висівалися перпендикулярно до посіяних поворотних смуг, під кутом 90° (рис. 1). Для порівняння сформували 18 окремих ділянок сої. Система контролю секцій спочатку проходила калібрування для автоматичного відключення через 0,25 м і повторного включення на такій же відстані під час виїзду сівалки за межі поворотних смуг. Ширина міжрядь була обрана рівною 500 мм. Всі управлінські заходи щодо агротехніки та добір сортів виконувалися кожним агровиробником самостійно. Після

появи сходів дослідні ділянки відзначали в межах поворотних смуг і по центральних лініях проходу посівної машини (рис. 1).

Розміри ділянок складали $3,0 \times 3,0$ м. Підрахунок рослин здійснювали на стадії V3 (третій листок) у п'яти центральних рядках кожної ділянки (рис. 1). В кінці сезону врожай зі всіх дослідних ділянок сої збирали вручну. Вологість насіння визначали на кожній ділянці, яка становила до 120 г/кг. Додатково на окремій ділянці відбирали 10 рослин для оцінки врожайності: враховували кількість насінин на одну рослину (SNP) та загальну кількість стручків. Також проводили підрахунок стручків із різною кількістю бобів: по одному, два, три та чотири. Маса тисячі насінин визначали вручну.

Набір даних №1. Втрати врожаю сої на площах з перекриттям висіву

Для порівняння рівня втрат врожаю між двома методами посіву було визначено співвідношення: $\text{врожайність DPA} / \text{врожайність ASC}$. На основі цього підходу було обчислено значення кумулятивного частотного розподілу втрат або приросту урожаю в діапазоні від 0 до 1. Крім того, визначались відносні втрати врожайності у кілограмах на гектар, що пов'язані з відсотковою площею DPA. Такі розрахунки виконувались для чотирьох рівнів поширення DPA: 1, 5, 10 та 15% від загальної площі поля.

Також проводився розрахунок економічних втрат для всіх варіантів DPA. Втрати врожаю множились на ринкову ціну сої, яка становила 0,4 долара за кілограм. Для оцінки ефективності вкладень пропонувалося визначати площу посівів, яка потрібна для окупності витрат завдяки економії від використання систем ASC.

Додатково було проведено аналіз даних із другого набору. За допомогою геоприв'язаних відомостей про посіви визначалась частка DPA на оброблених площах. Цей набір охоплював 32 поля загальною площею 1126 гектарів. Дані про посіви від машин без систем ASC збирались у вигляді шейп-файлів завдяки наявності диференціальних корекцій у

реальному часі. Інформація записувалася у пам'ять монітора *Topper 5500 VT*.

Під час посіву основні етапи технологічного процесу, включно з визначенням траєкторії руху та роботою на поворотних смугах, здійснювались відповідно до типової схеми, рекомендованої агровиробниками. На поворотних смугах датчик фіксував моменти піднімання та опускання сівалки, а ці дані зберігались у шейп-файлах.

Оскільки на показники DPA впливає розмір сівалки, для аналізу обирали лише поля, засіяні машинами з однаковою кількістю висівних секцій, зазвичай від 12 до 16 рядів, що відповідає типовим розмірам сівалок у цьому регіоні. Дані надавали агровиробники та власники посівної техніки. Щоб мінімізувати похибки GPS при оцінці DPA, на семи полях посів проводився 14-рядною сівалкою, оснащеною системою ASC. Було висунуто гіпотезу: якщо шейп-файли з посівів за ASC показують певну частку DPA, ці значення слід виключати з розрахунків DPA для машин без ASC. Такий підхід дозволяє отримати більш точну оцінку відсотка DPA, враховуючи можливі похибки через рельєф поля або втрату GPS – сигналу.

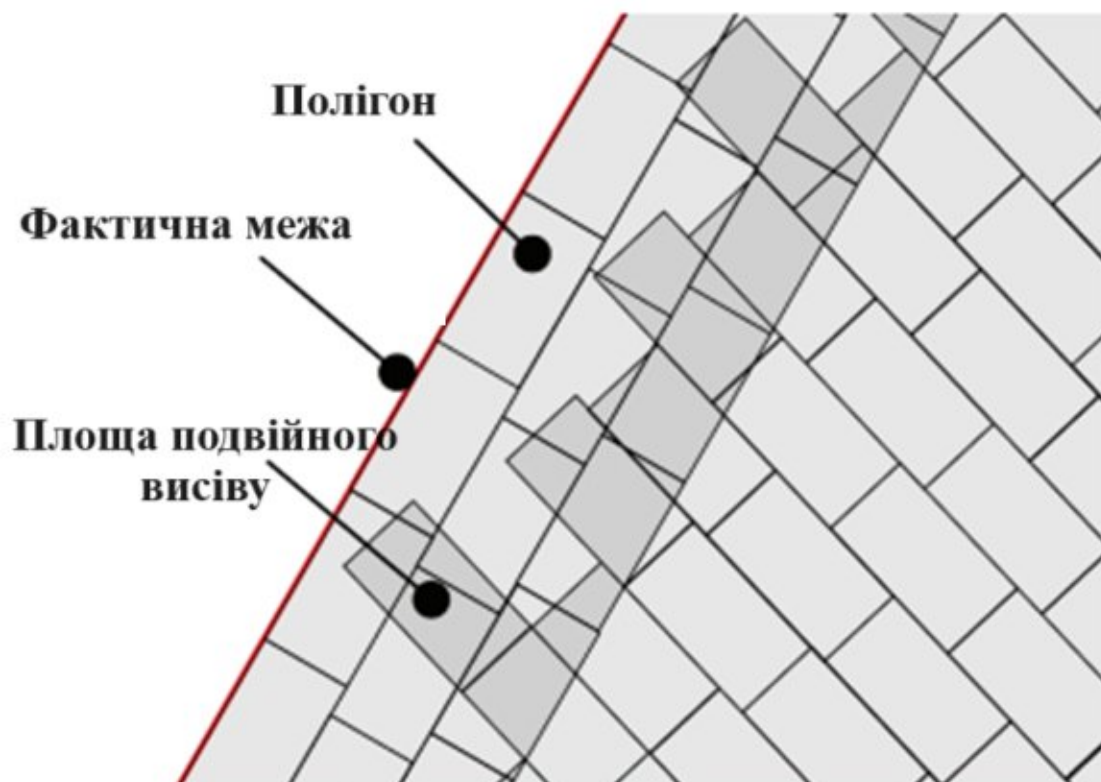


Рис. 2 - Інформація шейп-файлу з набору даних 2, яка використовується для розрахунку посівної площі (загальна площа полігонів), площі поля (згідно координат), площі подвійного посіву (DPA) (загальна площа полігонів мінус площа поля) і частки DPA (загальна площа полігонів) співвідношення площа/площа поля)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

За допомогою шейп-файлів із полігонами, що містили географічні координати, проводився аналіз даних щодо посівних площ (рис. 2). Визначення розмірів посівів виконували з використанням геометричної функції, яка інтегрована в програмне забезпечення *QGis*. Для підрахунку загальної площі сільськогосподарських угідь застосовували розраховані площі окремих прямокутних ділянок, включаючи ті, що частково перекривалися. Межі поля встановлювалися на основі контурів території, враховуючи крайні лінії проходів сівальної техніки. Оскільки під час висіву завжди відбувається певне перекриття рядків, фактична засіяна територія виявляється більшою за площу, обмежену кордонами поля. Для кожного об'єкта дослідження частку DPA визначали через співвідношення посівна площа/гранична площа.

2.2 Статистичний аналіз

На основі даних із набору 1 було виконано обчислення описової статистики за допомогою відповідного програмного забезпечення, зокрема визначено стандартне відхилення (*SD*) та його середні, мінімальні й максимальні показники, а також обчислено коефіцієнт варіації (*CV*) для урожайності та густоти рослин сої (Таблиця 2).

Для оцінки дисперсії врожайності та її складових (*SNP* та *TSW*) між посівами з використанням *ASC* та без нього застосовувалася процедура *NLE*, де густина рослин, повторюваність і режим посіву розглядалися як випадкові фактори. Лінійні регресійні моделі були побудовані для

характеристики співвідношень: $Yield_{DPA}/Yield_{DPASC}$ (рис. 3), $DPA/$ густота рослин з ASC , а також щільність рослин/ щільність рослин з ASC (рис. 4) із використанням процедури LME.

Крім того, за допомогою програмного забезпечення Past виконано алометричний аналіз для порівняння кутів нахилу зазначених співвідношень. Окремо в середовищі R було перевірено лінійні моделі, що описують залежність площі посівів (га) від частки DPA (%) у них.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

У посівах сої спостерігалася більша кількість рослин у варіанті DPA порівняно з посівами, де було активовано ASC, на 72%. Незважаючи на підвищену щільність рослин, це не призвело до змін у врожайності сої (табл. 2).

Середнє зменшення продуктивності на ділянках DPA склало близько 3%, або 0,2 Мг/га менше ($p = 0,60$) порівняно з врожайністю на ділянках із включеною системою 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 ⁻¹ 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 ⁻¹ 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 |

Показники урожайності для ділянок DPA розраховувалися як співвідношення між $Yield_{DPA}$ та $Yield_{ASC}$ для всіх полів (5, 6 та 7). Для оцінки втрат врожаю при різних її рівнях, було обчислено співвідношення між відносною врожайністю ($Yield_{DPA}/Yield_{ASC}$) і $Yield_{ASC}$ (рис. 3).

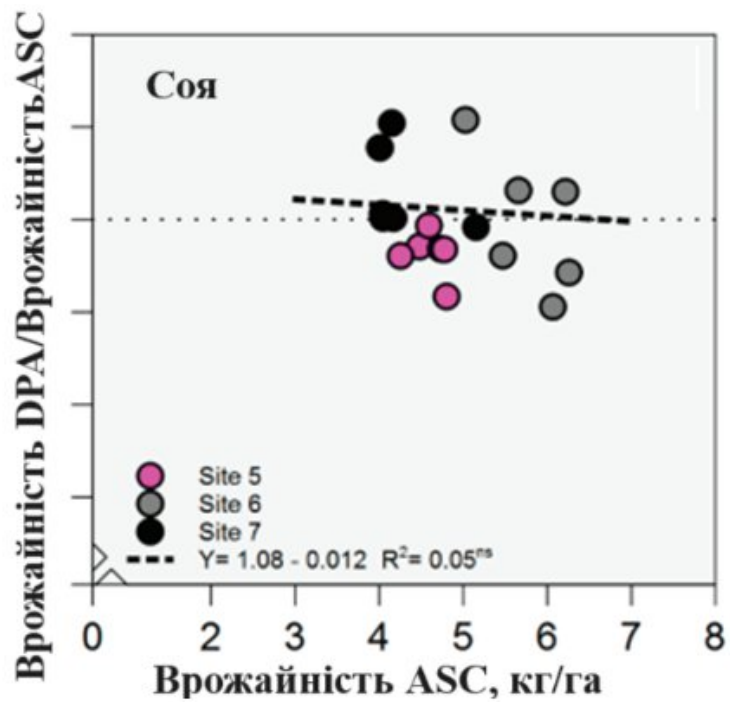


Рис. 3 - Зв'язок між відносною врожайністю, розрахованою як співвідношення врожайність DPA/врожайність ASC, і врожайністю ASC. Кожне спостереження представляє паралельну оцінку врожайності для сої (загалом 18, три ділянки)

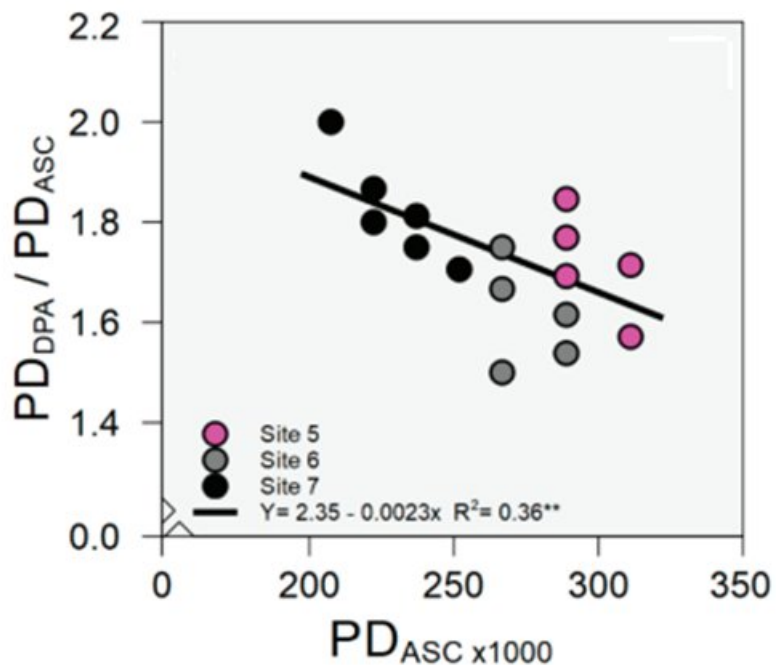
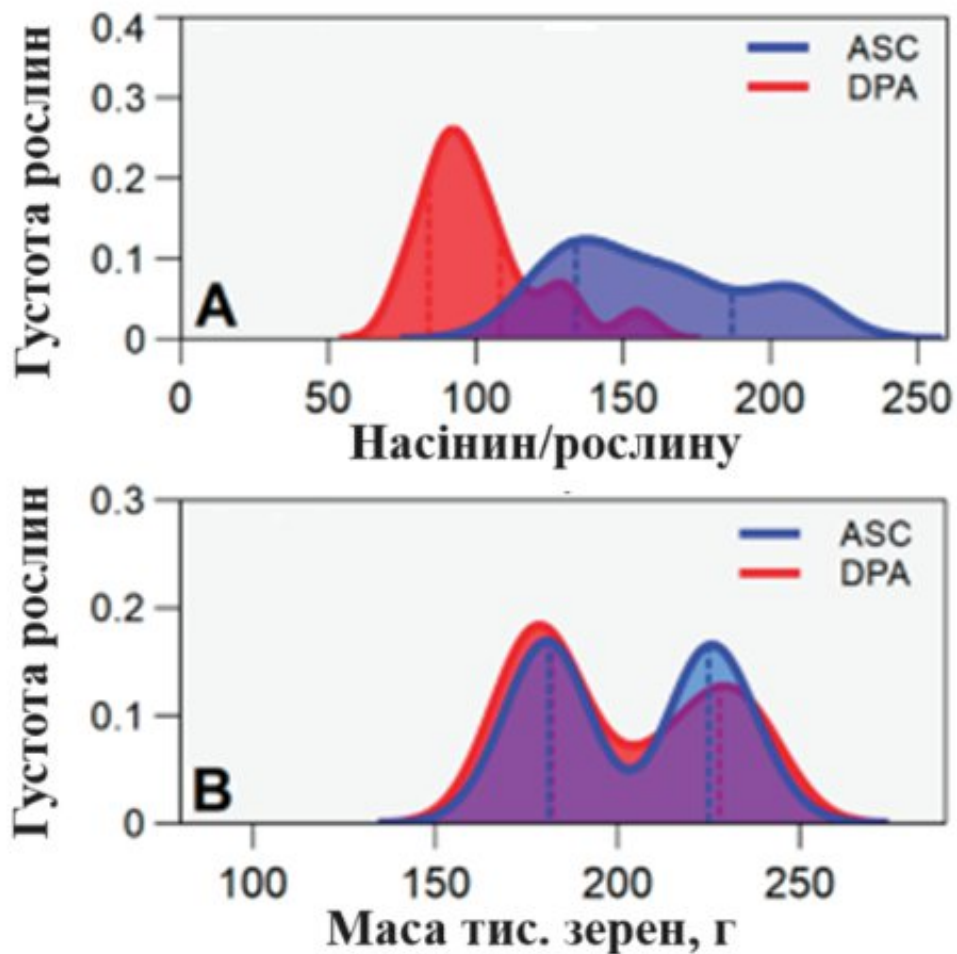


Рис. 4 - Зв'язок між відносною густрою рослин, розрахованою як коефіцієнт густоти рослин DPA/ ASC (PD_{DPA}/PD_{ASC}), і густрою рослин ASC для посівів сої. Кожне спостереження представляє паралельну оцінку врожайності (загалом 18, три ділянки)

На всіх досліджуваних ділянках (5, 6 та 7) для посівів сої простежувалася подібна негативна динаміка (рис. 4), коли при зростанні «щільності рослин ASC» відзначалися зниження співвідношення «щільності рослин DPA/щільності рослин ASC». ($R^2 = 0,35, p < 0,03$).

Рис. 5 - (А) кінцева кількість насіння на рослину та (В) маса тисячі



насіння для ділянок автоматичного секційного контролю (ASC) і подвійного висіву (DPA). Пунктирні лінії представляють 24 і 74% інтерквартиля відповідно

Використовуючи методи логарифмічного аналізу, проведено тестування кутів нахилу лінійних моделей для сої (ділянки 5, 6 та 7). Результати показали, що зменшення щільності рослин DPA порівняно з щільністю рослин ASC було статистично порівняним ($p = 0,12$) при збільшенні густоти рослин у посівах з ASC. (рис. 4).

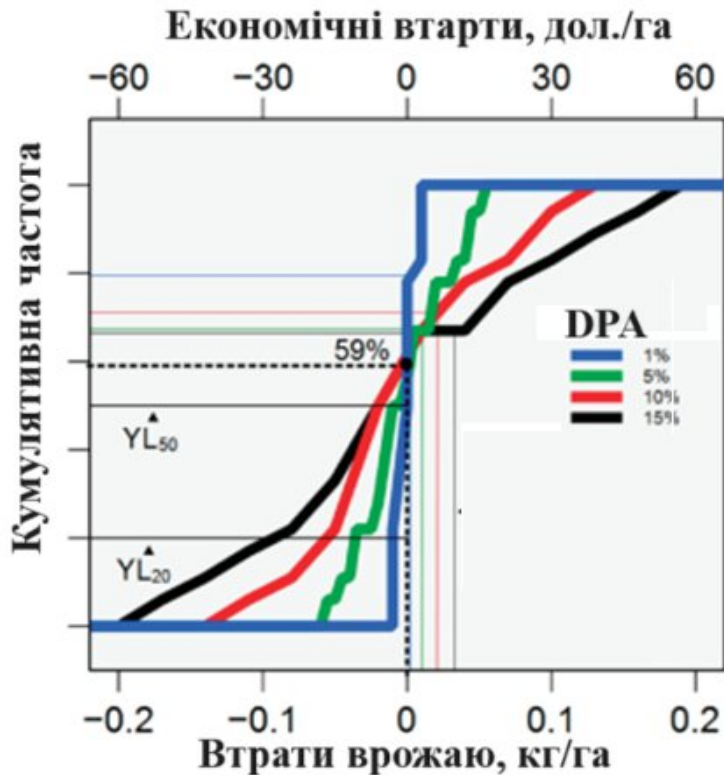


Рис. 6 - Кумулятивний частотний розподіл урожайності та економічних втрат для різниці площ подвійного посіву (DPA) та подвійного посіву (ASC) ($Yield_{DPA} - Yield_{DPASC}$) з урахуванням сценаріїв 1, 5, 10 і 15% DPA. Результати базуються на даних 16 паралельних оцінок. YL₅₀ і YL₂₀ представляють втрату врожаю з 50 і 20% ймовірністю відповідно

Аналіз складових врожайності сої.

Щоб оцінити вплив DPA на продуктивність сої та інших культур, було проведено аналіз на рівні окремих рослин з метою з'ясувати, як ключові складові врожайності формують відповідь культури на цю технологію. Для сої застосування DPA не виявило значного впливу на загальну врожайність, що, ймовірно, пояснюється компенсаторними взаємозв'язками між розміром насіння та кількістю рослин на одиницю площі (табл. 2). Середня вага насіння (SNP) знизилася на 65%, тоді як щільність посадки збільшилася на 76% у порівнянні з контролем ASC (табл. 2, рис. 5A), проте загальна маса тисячі насінин (TSW) залишилася незмінною (табл. 2, рис. 5B).

Аналіз урожайності та економічних втрат на площах із подвійним посівом показав, що ймовірність зниження врожаю через DPA для сої становила близько 59% (рис. 6). Абсолютне значення продуктивності, при якому ризик втрати врожаю стає нульовим, дорівнювало 4,9 кг/га для цієї культури. За однакової кумулятивної частоти врожайності (наприклад, 20%) економічні втрати для сої становили 18, 10, 5 та 2% для сценаріїв DPA із 15, 10, 5 та 1% відповідно (рис. 6).

Дослідження надає нові відомості щодо технології ASC на сівалках і відкриває можливість точного підбору оптимальної густоти рослин, що дозволяє підвищити врожайність і водночас зменшити витрати на експлуатацію. Польові випробування засвідчили, що DPA більш суттєво знизилася врожайність кукурудзи порівняно із соєю, ймовірно, через сильніший вплив густоти рослин на продуктивність цієї культури. Генотипові особливості гібридів кукурудзи також можуть визначати їх чутливість до густоти посадки. Висока щільність рослин, яка перевищує агрономічно оптимальний рівень, як у випадку обробки DPA, призводить до зниження врожайності, що підтверджують численні попередні дослідження.

В цілому втрати врожаю зростали при надмірній густоті посіву, особливо на ділянках з низькими рівнями продуктивності та гібридами, які демонструють нижчу оптимальну щільність у порівнянні з високоврожайними культурами. Використання ASC-систем може бути економічно ефективним навіть при нижчій врожайності, завдяки одночасному збільшенню продуктивності та економії насіння. Схожа тенденція спостерігалася й у вологих умовах: у середовищах із високим рівнем конкуренції між рослинами та обмеженими ресурсами відзначалося помітне зниження продуктивності у порівнянні з високоврожайними ділянками.

Компенсаторна здатність сої визначає її реакцію на щільність посадки. Лише незначна зміна продуктивності або її відсутність спостерігалася у широкому діапазоні норм висіву від 70 до 950 тисяч насінин на гектар. Виходячи з цього, ймовірність втрат урожайності залишалася низькою навіть при оцінюванні на різних рівнях продуктивності (4 – 6 М кг/га). Аналогічно, останні дослідження показали відсутність відповіді врожайності на щільність посадки, коли кількість рослин була нижчою за 236 тисяч на гектар та продуктивність меншою за 3,6 кг/га.

Отже, відсутність реакції врожайності сої на DPA можна пояснити відносно вузьким коливанням продуктивності та обмеженим діапазоном густоти рослин (від 220 000 до 320 000 рослин на гектар) (рис. 3, 4). Що стосується ASC-технології, економічна користь для виробництва сої пов'язана насамперед із зменшенням витрат на насіння. Тому для сої не очікується значного підвищення врожайності при застосуванні ASC, що підтверджує отримані результати.

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 |

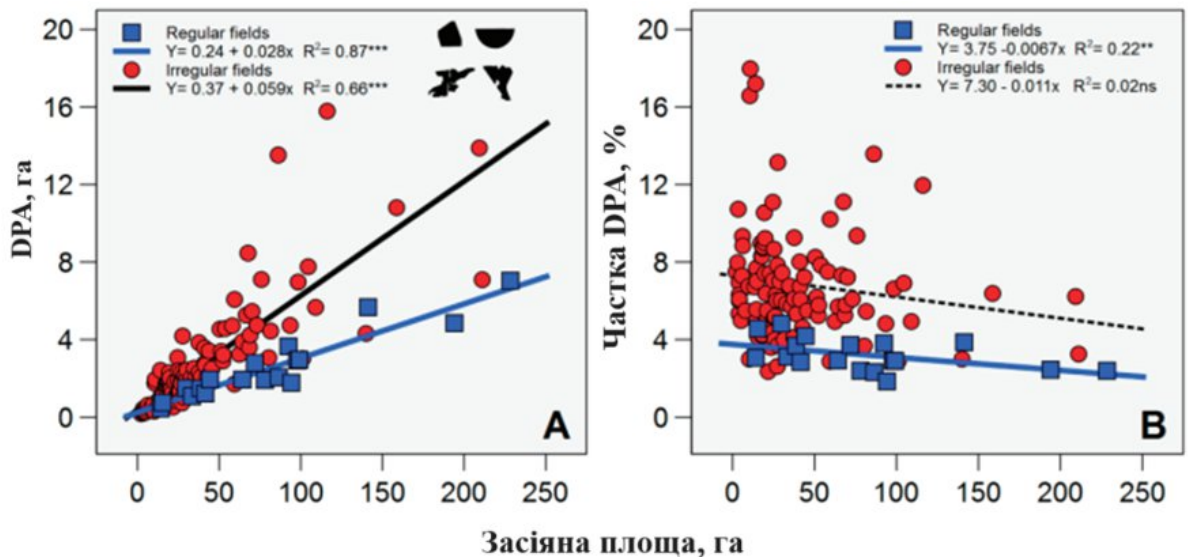


Рис. 7 - (А) Співвідношення між посівною площею (га) і подвійною посівною площею (DPA, га) для простих полів ($n = 6$) і зі складною формою ($n = 27$) полів; (В) між посівною площею (га) і пропорцією DPA для простих полів і зі складною формою

Дане дослідження підтверджує зазначене твердження, розкриваючи зміни в SNP і TSW – при аналогічному TSW, але з компенсацією зменшення SNP за рахунок кількості рослин у зонах DPA (рис. 5С). Декілька науковців відзначали, що головним механізмом компенсації у сої є співвідношення числа стручків та насіння на окремій рослині. При меншій густоті посіву більша частина сухої маси спрямовується на гілки, що збільшує кількість стручків на одну рослину.

Ця реакція активується співвідношенням червоного та далекого червоного світла у кроні на ранніх етапах розвитку, причому вищий коефіцієнт сприяє більшому перенесенню сухої маси на гілки. Таким чином, за низької густоти рослин більша кількість насіння на одну рослину компенсує зменшену кількість рослин на полі, а при високій щільності відбувається зворотний ефект, що в результаті забезпечує однаковий рівень врожайності у обох випадках.

Економічна вигода стосувалася лише вартості насіння сої (рис. 6). Крім того, розмір і форма поля були визначені як ключові чинники, що впливають на ASC, причому невеликі площі та нерегулярні контури

створюють більші переваги від застосування цієї технології. Аналіз 32 полів (набір даних 2) показав середній DPA на рівні 5,5% (6,5% від традиційних систем мінус 0,8% завдяки технології ASC) (Таблиця 3). Це значення DPA перевищує показники, наведені в попередніх звітах, де середнє становило від 4,3 до 4,6%. Після класифікації полів за DPA на дві категорії – прості (співвідношення периметр (м)/площа (га) < 0,03) та складної форми (співвідношення периметр (м)/площа (га) \geq 0,03) – лише 15% полів віднесли до категорії «простих», тоді як 85% мали співвідношення \geq 0,03 і були класифіковані як складні (рис. 7).

ВИСНОВКИ

Ці дані підкреслюють ефективність застосування цієї технології, підтверджуючи результати раніше проведених досліджень. У разі сої при прийнятті агротехнічних рішень необхідно враховувати економічні вигоди, зокрема економію насіння та/або запобігання втратам врожаю на ділянках із розворотами завдяки використанню DPA. Крім того, отримані результати демонструють, що при реальних умовах (посівні площі, DPA та рівень урожайності) термін окупності ASC залишається досить коротким. На сьогодні ASC стає типовою технологією для нових моделей сівалок у всьому світі, причому очікувана вартість знижується разом із збільшенням масштабів її впровадження.

Впровадження ASC на сівалках забезпечує зростання рентабельності культури завдяки економії насіння сої. Основні висновки дослідження включають:

1. Урожайність сої виявилася малочутливою до впливу DPA через приблизно однакову густоту висіву та масу тисячі насінин (TSW);
2. Середній обсяг DPA на полях становив близько 5,5% від загальної площі, причому цей показник лінійно збільшувався з розширенням площі посівів та на полях із неправильними контурами, що додатково підсилює економічну ефективність ASC на сівалках.

Подальші дослідження доцільно проводити з різними культурами в рамках різних сівозмін, щоб кількісно визначити сумарні переваги на рівні всієї системи землеробства, що потенційно сприятиме підвищенню прибутковості аграрного виробництва при одночасному зниженні витрат на технологію.

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-vazhlivih-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-pereviryaty-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 Tempo F — сівалка, яку потрібно розуміти [Електронний ресурс] / Д. Радіонов // Агробізнес сьогодні. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://agro-business.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-vpliv-strokiv-ta-norm-visivu-na-urojaynist-sonyashnika>.

9. Сіяти соняшник зі змінною нормою чи ні? Результати досліджу 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://agro-business.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. Карабиньощ, 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