

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 роботи системи контролю притискового зусилля висівної секції при посіві кукурудзи на зерно»

Виконав:

(підпис)

Андрій НЕМЧЕНКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Група:

СТЗ 2401-2м

Науковий керівник:

(підпис)

Михайло ШУЛЯК

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Рецензент:

(підпис)

В'ячеслав ТАРЕЛЬНИК

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Суми – 2025

АНОТАЦІЯ

Немченко Андрій Олегович

Дослідження ефективності роботи системи контролю притискного зусилля висівної секції при посіві кукурудзи на зерно.

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 сторінці машинописного тексту пояснювальної записки, що містить 3 таблиці, 15 рисунків, додатків 2, 25 літературних джерел.

Метою цього дослідження було оцінити вплив швидкості руху та налаштувань притискної сили на відстань між рослинами та глибину посіву, а також визначити взаємозв'язок між швидкістю висіву та рівнем вібрації висівного агрегату і тим, як ці параметри впливають на навантаження на колеса посівної техніки. Для виконання дослідження застосовували 12-рядну просапну сівалку, яку використовували під час посіву кукурудзи на двох типах ґрунтового обробітку: на полях із технологією нульового обробітку та на полях, де було застосовано смуговий обробіток ґрунту.

У ролі основних факторів впливу розглядали налаштування притискної сили та швидкість руху посівного агрегату. Притискна сила мала два рівні — 63 кг та 100 кг, що дозволяло оцінити різницю в роботі сошників за мінімальних і підвищених навантажень. Швидкість руху змінювали у чотирьох діапазонах: 7,2; 9,7; 12,1 та 16,1 км/год, щоб проаналізувати зміни якості посіву за умов поступового збільшення швидкості проходження агрегату. Сівалку було запрограмовано на висів кукурудзи з глибиною загортання насіння 5,1 см та

нормою висіву 84 000 насінин на гектар. Такий режим роботи відповідав теоретичній відстані між рослинами на рівні 17,8 см.

За результатами дослідження встановлено, що притискна сила не мала статистично значущого впливу на формування фактичної відстані між рослинами на обох типах полів. Водночас було помічено, що підвищене налаштування притискної сили забезпечувало дещо кращу точність розташування рослин відносно теоретичного значення. Це свідчить про те, що хоча загальний вплив притискної сили був незначним, її збільшення сприяло більш стабільному проходженню сошників та рівномірнішому утворенню посівних борозен.

Більша варіабельність відстані спостерігалася зі збільшенням швидкості руху. Цільова глибина посіву на полі без обробітку була досягнута завдяки високій притискній силі та меншій швидкості ґрунту, тоді як глибша глибина посіву на полі смугового обробітку спостерігалася за високого налаштування притискної сили. Нарешті, обидва налаштування притискної сили показали збільшення прискорення висівного агрегату зі збільшенням швидкості руху.

Ключові слова: посів, якість, посівний агрегат, робоча швидкість, притискне зусилля.

ABSTRACT

Nemchenko Andriy Olehovych

Study of the efficiency of the system for controlling the pressing force of the sowing section when sowing corn for grain.

Qualification work for obtaining a 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 3 tables, 15 figures, 2 appendices, 25 literary sources.

The purpose of this study was to assess the influence of the speed of movement and the settings of the pressing force on the distance between plants and the depth of sowing, as well as to determine the relationship between the sowing speed and the vibration level of the sowing unit and how these parameters affect the load on the wheels of the sowing equipment. The study used a 12-row row seeder, which was used during corn sowing on two types of soil cultivation: on fields with zero-tillage technology and on fields where strip tillage was used. The main influencing factors were the settings of the downforce and the speed of the sowing unit. The downforce had two levels - 63 kg and 100 kg, which allowed to assess the difference in the operation of the coulters at minimum and increased loads. The speed of movement was changed in four ranges: 7.2; 9.7; 12.1 and 16.1 km/h, in order to analyze changes in the quality of sowing under conditions of a gradual increase in the speed of the unit's passage. The seeder was programmed to sow corn with a seed embedment depth of 5.1 cm and a seeding rate of 84,000 seeds per hectare. This operating mode corresponded to the theoretical plant spacing of 17.8 cm.

The results of the study showed that the downforce had no statistically significant effect on the actual plant spacing in both field types. However, it was observed that the higher downforce setting provided slightly better accuracy of plant placement relative to the theoretical value. This indicates that although the overall effect of downforce was small, its increase contributed to more stable coulter passage and more uniform formation of seed furrows.

Greater variability in spacing was observed with increasing ground speed. The target seeding depth in the no-tillage field was achieved due to high downforce and lower ground speed, while deeper seeding depth in the strip-tillage field was observed

with high downforce setting. Finally, both downforce settings showed an increase in seeding unit acceleration with increasing ground speed.

Keywords: sowing, quality, sowing unit, working speed, downforce.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. Стан питання і задачі дослідження.....	10
1.1 Аналіз конструкцій просапних сівалок	10
1.2 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур.....	20
1.3 Аналіз досліджень систем керування притискним зусиллям сівалок.....	23
Розділ 2. Методика досліджень.....	26
2.1 Налаштування обладнання та приладів.....	26
2.2 Розмітка поля.....	28
2.3 Опис поля.....	29
2.4 Збір польових даних.....	31
Розділ 3. Результати досліджень і їх аналіз.....	33
3.1 Відстань між рослинами.....	33
3.2 Вібрація висівного агрегату та навантаження на колеса.....	30
Висновки.....	40
Список використаних джерел.....	42

ВСТУП

1. Актуальність теми

Підвищення ефективності процесів висіву просапних культур є одним із ключових напрямів розвитку сучасного точного землеробства. Якість посіву безпосередньо визначає майбутню врожайність, рівномірність сходів, раціональне використання ресурсів та стабільність агротехнологічних процесів. Особливого значення набувають системи контролю параметрів роботи посівних агрегатів, зокрема притискного зусилля висівної секції, адже саме вони забезпечують стабільність глибини загортання насіння та рівномірність просторового розміщення рослин.

2. Аналіз стану наукової розробки проблеми

У вітчизняних та зарубіжних наукових дослідженнях значна увага приділяється конструкціям висівних апаратів, характеристикам роботи сошників, впливу притискної сили на стабільність загортання насіння, а також впливу робочої швидкості на якість посіву. Науковці аналізують питання варіабельності відстані між рослинами, стабільності глибини висіву, динамічної взаємодії агрегату з ґрунтом та вібраційних процесів під час руху.

Разом з тим, низка аспектів залишається недостатньо дослідженою. Зокрема, мало уваги приділено комплексному аналізу взаємодії швидкості руху, притискної сили, рівня вібрації та навантаження на колеса посівної техніки в реальних умовах різних систем обробітку ґрунту. Існують суперечності у визначенні оптимальних режимів роботи системи контролю притискного зусилля, що потребує уточнення на основі експериментальних даних.

3. Мета дослідження

Метою дослідження є оцінка впливу швидкості руху та налаштувань притискної сили висівної секції на відстань між рослинами, глибину посіву та динамічні показники роботи посівного агрегату під час сівби кукурудзи.

4. Об'єкт дослідження

Процес висіву кукурудзи просапною сівалкою в умовах різних систем обробітку ґрунту.

5. Предмет дослідження

Параметри роботи системи контролю притискного зусилля висівної секції та їх вплив на якість посіву, включаючи фактичну відстань між рослинами, глибину загортання насіння, рівень вібрації та навантаження на колесах.

6. Завдання дослідження

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Дослідити сучасні підходи до керування притискним зусиллям сівалок.
2. Розробити програму експериментальних досліджень.
3. Провести польові дослідження на ділянках із різними системами обробітку ґрунту.
4. Визначити взаємозв'язок між швидкістю висіву, вібрацією висівного агрегату та навантаженням на колеса.

7. Методи дослідження

У роботі застосовано такі методи: аналіз і синтез наукових джерел; експериментальні польові дослідження; вимірювання параметрів роботи посівного агрегату; статистичні методи обробки даних; порівняльний аналіз отриманих залежностей та показників.

8. Структура та обсяг роботи

Випускна кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 45 сторінці машинописного тексту, містить 3 таблиці, 15 рисунків, 2 додатки та 25 використаних джерел.

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз конструкцій просапних сівалок

Розвиток механічних сівалок, призначених для посіву просапних культур, відзначається значними історичними змінами та технологічними вдосконаленнями, які відбулися з часу їхніх перших прототипів наприкінці XVIII століття. На початковому етапі такі пристрої були досить примітивними і мали обмежені функціональні можливості, проте поступово конструкції ставали більш складними, збільшувалися їхні габарити, а також впроваджувалися різні інноваційні рішення, що забезпечували підвищення продуктивності, точності висіву та ефективності роботи в польових умовах. З роками вдосконалення торкнулися не лише механічних компонентів, але й систем кріплення та регулювання, що значно розширило сферу їх застосування в сучасному землеробстві.

Сівалка, призначена для висіву просапних агрокультур, представляє собою спеціальний агрегат, який зазвичай з'єднується з трактором за допомогою дишла або стандартної триточкової зчипки. Розміри і технічні параметри такого обладнання визначаються числом висівних секцій, що розташовані на основній рамі, і можуть варіюватися від невеликих моделей із 4 секціями до великих машин, що мають до 54 висівних одиниць (Рис. 1). Міжряддя, яке застосовується для посіву культур, найчастіше становить 20, 24 або 28 дюймів, що дозволяє адаптувати роботу сівалки під конкретні агротехнічні вимоги та оптимізувати умови росту рослин у полі. Крім того, сучасні сівалки оснащуються регульовальними механізмами, що забезпечують точну глибину загортання насіння та рівномірність висіву, що є критично важливим для отримання високих урожаїв і раціонального використання ресурсів.



Рис. 1 - Розмір сівалки для просапних культур від (а) 4 сошників до (б) 56 сошників

Головна функціональна задача сівалок, призначених для просапних культур, полягає у максимально точному розташуванні окремих насінин уздовж рядків із визначеною міжрядковою відстанню та строго регламентованою глибиною загортання в ґрунт. Конструктивна організація просапної сівалки включає чотири основні системи або механізми, що безпосередньо забезпечують процес висіву, гарантують точність та ефективність сівби, а також мінімізують втрати насіння.

Одним із ключових елементів є система дозування насіння, яка відповідає за рівномірне та точне розподілення насінин відповідно до встановленої норми висіву на одиницю площі. Для реалізації цього завдання використовуються різні технологічні підходи, серед яких найпоширенішими є пальцеві та вакуумні дозатори (рис. 2). Пальцеві механізми відзначаються високою точністю і здатні ефективно відбирати насіння різного розміру, форми та маси без необхідності заміни висівної пластини. У процесі обертання пальців насіння надійно фіксується між рухомим пальцем або спеціальною чашкою та нерухомою пластиною дозувального вузла, що забезпечує його стабільне утримання протягом всього циклу до моменту надходження у випускний отвір. Пружинний

механізм додатково сприяє надійному утриманню насінин до моменту їхнього безпечного падіння в систему подачі.

Вакуумні дозатори застосовують спеціальні висівні диски, підібрані залежно від виду культури, що дозволяє досягти ще більш точного дозування порівняно з пальцевими системами. Частковий вакуум створює стабільне утримання насінин у виїмках або отворах диска, забезпечуючи їх нерухомість під час обертання. Коли висівний диск досягає випускного отвору, екстрактор відключає дію вакууму, що дає змогу насінню безперешкодно потрапити в систему подачі, після чого воно спрямовується до борозни для загортання. Завдяки такій конструкції забезпечується рівномірний розподіл насіння, зменшуються прогалини в рядках і підвищується якість посіву.

Додатково варто відзначити, що сучасні просапні сівалки оснащуються регульованими системами контролю, що дозволяють коригувати параметри дозування в реальному часі відповідно до змін умов ґрунту та вологості, підвищуючи продуктивність та економічність роботи машини. Такий підхід забезпечує стабільну та високоякісну сівбу навіть на великих площах із різноманітними агротехнічними вимогами.



Рис. 2 - Два типи системи дозування насіння. Вакуум (а) і пальцевий знімач (b)

Під час обертання висівна пластина або дозуючий диск захоплюють окремі насінини та передають їх у спеціальний отвір, через який вони потрапляють у систему подачі. Ця система направляє насіння безпосередньо у борозну, гарантуючи його правильне укладання на дно сформованого ложа.

У типовій просапній сівалці застосовують два основні види механізмів доставки насіння: гравітаційний насіннепровід (рис. 3а) та стрічковий конвеєр. У першому випадку насіння самостійно рухається вниз по трубці і потрапляє на ґрунт. Проте, якщо воно зачіпає стінки трубки під час падіння, це може спричинити нерівномірне розташування зерна, особливо при посіві на пересіченій місцевості або на великій швидкості руху сівалки. Інший варіант системи подачі – стрічковий конвеєр (рис. 3б), який був розроблений як вдосконалена альтернатива гравітаційному насіннепроводу. Тут використовується конвеєр із щіточками або лопатками, що переміщують насіння після виходу з дозувального механізму. Така конструкція забезпечує рівномірну транспортування зерна та його точне вивантаження у борозну на протилежному кінці сівалки.

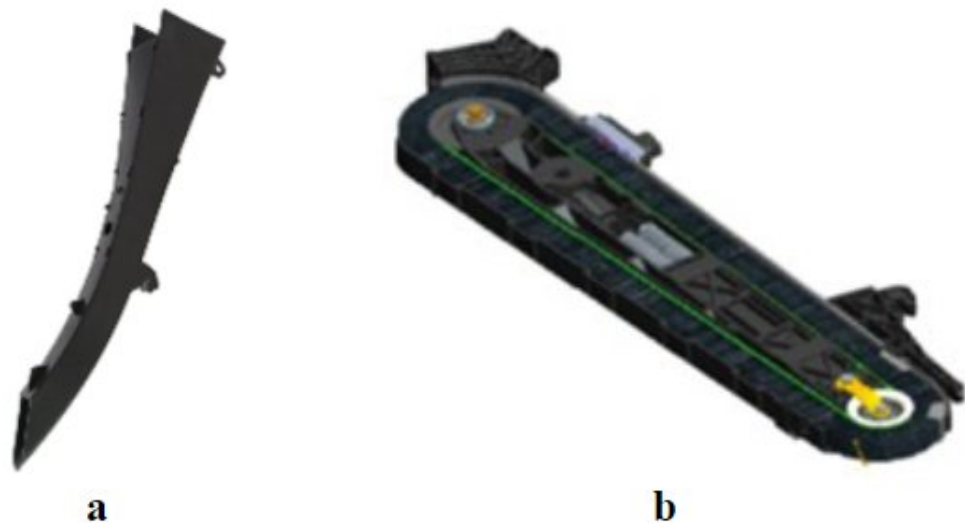


Рис. 3 - Насіннепроводи гравітаційного типу (а) та насінневого стрічкового конвеєра (б)

Насіння рекомендується висівати на таку глибину, де забезпечується достатній рівень вологи для нормального проростання. Сошники формують борозни у вигляді літери V, тоді як гумове опорне колесо відповідає за точне регулювання глибини посіву (рис. 4). Сівалки оснащені спеціальним механізмом, який дає змогу коригувати глибину закладання насіння залежно від фактичних умов поля під час роботи. Іноді застосовують борозеночисник, щоб видаляти рослинні залишки, бур'яни та інші сторонні елементи з поверхні ґрунту перед дисками, що полегшує їх входження.

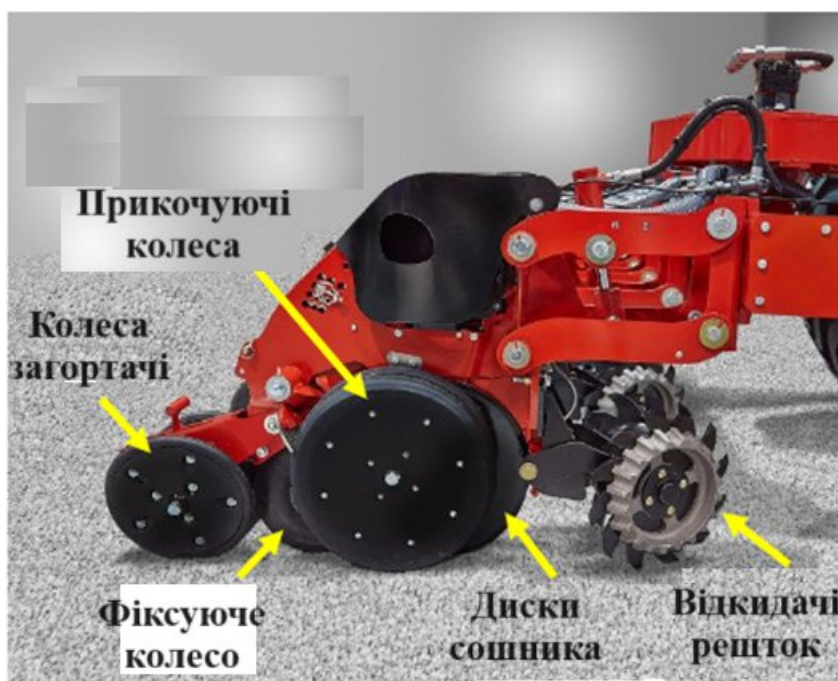


Рис. 4 - Основні елементи просапної сівалки

Для успішного проростання насіння та формування дружніх сходів надзвичайно важливо, щоб насіння щільно контактувало з ґрунтом. Після розміщення його в борозні застосовують спеціальний пристрій, який закриває борозну землею, забезпечуючи надійне прилягання насіння до ґрунтового шару та створюючи сприятливі умови для початкового розвитку рослин. Борознозакривачі або колеса для закриття борозни (див. рис. 4) виконують подвійне завдання: вони закривають борозну та ущільнюють навколишній ґрунт, усуваючи повітряні кишені, які можуть перешкоджати рівномірному

проростанню. Крім того, деякі сучасні сівалки оснащені прикочувальними колесами, які запобігають підстрибуванню насіння після його виходу з насіннепроводу, акуратно притискаючи кожен насінину до дна ложа. Це забезпечує стабільне розташування насіння на потрібній глибині та покращує контакт із вологою, сприяючи швидшому і більш рівномірному проростанню, що, в свою чергу, підвищує потенціал майбутнього врожаю.

Система контролю притискної сили висівних секцій

Посівні агрегати для просапних культур повинні гарантувати розміщення насіння на однаковій глибині та з рівномірним інтервалом у рядках. Для цього диски використовують масу сільськогосподарської машини, щоб проникнути в ґрунт і сформувати борозну необхідної глибини. Опорні колеса контролюють глибину борозни, перешкоджаючи занадто глибокому заглибленню дисків. Надмірна сила, що діє на колесо при контакті з ґрунтом, визначається як навантаження колеса. Через змінний опір ґрунту під час руху по полю маса висівного механізму іноді буває недостатньою, що може призвести до втрати контакту опорних коліс із поверхнею ґрунту та, відповідно, до зменшення глибини посіву.

Агрегати для просапних культур оснащуються спеціальним механізмом, який створює додаткове навантаження на кожен секцію. Це дає змогу формувати борозну з потрібною глибиною та підтримувати її по всій площі поля, враховуючи різне ущільнення ґрунту, його тип і наявність рослинних решток. Додаткове навантаження разом із масою висівного пристрою формує притискну силу, яку можна регулювати за допомогою трьох видів систем: механічної, пневматичної та гідравлічної.

Механічна система

Система, представлена на рис. 4 а, застосовує пружини для забезпечення додаткового навантаження, необхідного для ефективного функціонування ключових компонентів сівалки. Користувач може регулювати величину цього

тиску, обираючи відповідну виїмку на висівній секції за допомогою ручного важеля; кожна позиція відповідає певній додатковій притискній силі з дуже дрібними кроками. При цьому пружини системи забезпечують швидку реакцію на нерівності ґрунту під час роботи, що спричиняє значні коливання притискного зусилля ($F = kS$, з.-н Гука), яке діє на висівні механізми, забезпечуючи адаптивність роботи сівалки до зміни рельєфу.

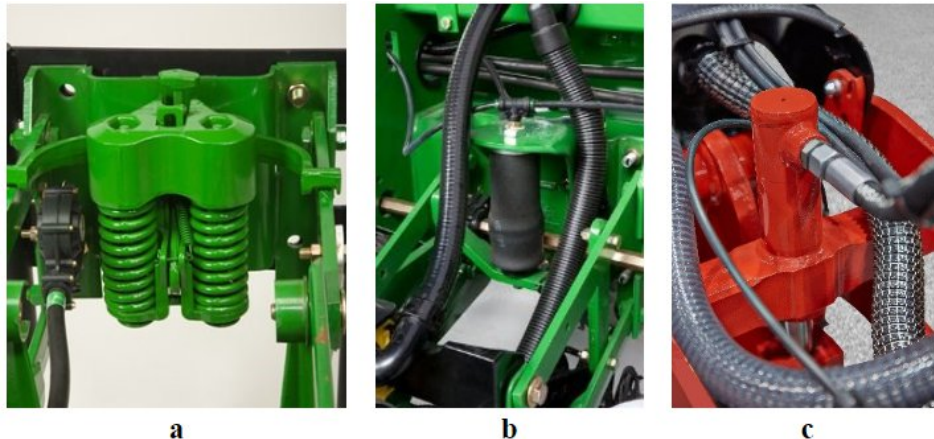


Рис. 5 - Системи притискної сили сівалки (а) механічні (б) пневматичні та (в) гідравлічні

Пневматична система

У системах подібного типу (рис. 4b) застосовуються гумові повітряні подушки, які заповнюються повітрям за допомогою спеціального компресора з метою забезпечення максимально рівномірного притискання під час руху посівної машини по полю. Такий підхід вважається значно зручнішим, оскільки оператор отримує можливість безпосередньо регулювати величину притискної сили без необхідності виходу з кабіни, що підвищує ефективність та комфорт роботи. Крім того, пневматичні подушки здатні підтримувати більш стабільну та контрольовану притискну силу, оскільки її можна виставити на будь-якому рівні у межах діапазону додаткового навантаження висівної секції (від 0 до 440), що істотно відрізняє цю систему від механічних аналогів, у яких регулювання здійснюється менш точно. Датчики опорного колеса забезпечують постійний зворотний зв'язок щодо фактичного притискного зусилля кожної висівної секції,

який можна використовувати для точного коригування додаткової сили під час висіву насіння. Водночас слід враховувати, що подібна пневматична система дещо повільніше реагує на раптові зміни умов роботи, оскільки їй необхідний певний час для досягнення потрібного тиску в повітряних подушках, що може впливати на оперативність адаптації машини до нерівностей рельєфу або змін вологості ґрунту.

Гідравлічна система

Гідравлічна система здатна забезпечити більш швидку реакцію на необхідність регулювання притискної сили висівної секції у порівнянні з пневматичною. Такі механізми (рис. 4 с) обладнані гідравлічними циліндрами, які за потреби додають додаткову притискну силу до висівних секцій. Перед початком посіву встановлюється навантаження на опорне колесо, яке розраховується як оптимальне для конкретної посівної машини, щоб досягти бажаної глибини закладення насіння. Система підтримує задане зусилля, забезпечуючи необхідне проникнення в ґрунт та стабільність глибини посіву без ризику надмірного ущільнення. Сенсор, встановлений на опорному колесі, передає інформацію про фактичне навантаження на колесо, що дозволяє оперативно визначати потребу у коригуванні притискної сили. Подібна конструкція особливо корисна на полях із різноманітними умовами (тип обробітку ґрунту, його структура, рельєф місцевості, залишки рослинності та ін.), де важлива швидка адаптація до змінних польових параметрів.

Автоматичне керування висівними секціями

Сівалки для широкорядних культур можуть мати систему автоматичного управління секціями, що дозволяє підвищити ефективність висіву за рахунок зниження витрат на виробництво та збільшення продуктивності агротехніки. Використовуючи глобальне позиціонування та карти покриття, така технологія допомагає запобігати повторному засіву, регулюючи роботу окремих висівних агрегатів або рядкових блоків у процесі внесення насіння. Зазвичай операцію

розпочинають із засівання межових частин поля, а потім переходять до обробки основної площі.

Під час роботи оператори вручну вмикають та вимикають висівні секції по всій ширині сівалки, коли наближаються до вже засіяних або запланованих для посіву ділянок. Іноді край сівалки може заходити на сусідні ряди, створюючи накладки. Якщо блоки вимкнуті занадто рано, можуть залишитися пусті місця, а затримка вимикання до останнього ряду часто призводить до подвійного висіву на окремих ділянках (рис. 5 а).

Скоротити площі перекриття складно, особливо при одночасному прагненні уникнути пропусків під час висіву. Крім того, на полях із складною конфігурацією, під час розворотів на смузі або обходу перешкод, накладки зазвичай збільшуються.

Автоматична система керування секціями дозволяє самостійно вимикати окремі ряди чи секції на вже засіяних ділянках та активувати їх у момент, коли потрібно обробити нові площі (рис. 4b). Такий підхід значно знижує витрати насіння, пов'язані з перекриттям, та підвищує врожайність, мінімізуючи ймовірність пропусків чи повторного засіву окремих ділянок.

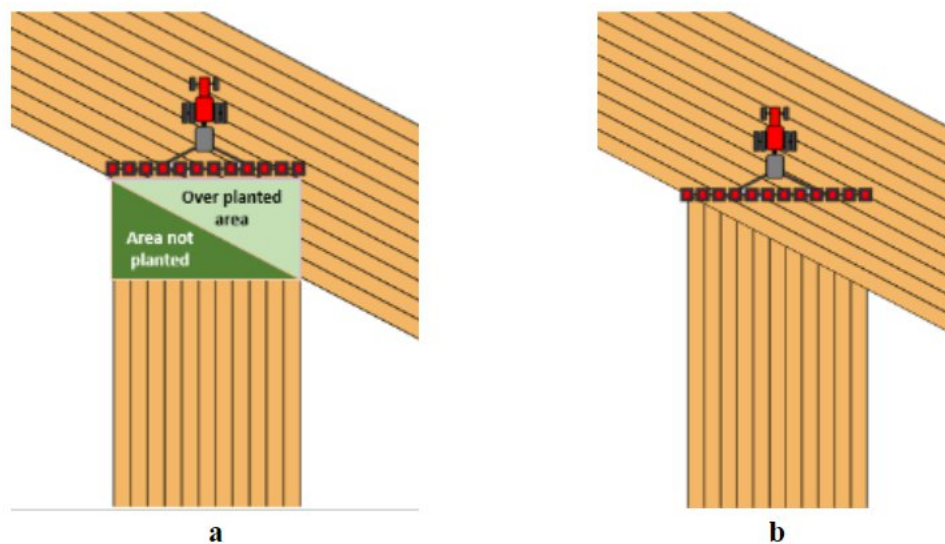


Рис. 6 - Ручне керування (а). Автоматичне керування окремими секціями

(b)



Рис. 7 - Вплив системи автоматичного контролю на зменшення площі перекриття

Посів є одним із найважливіших етапів рослинництва, який прямо визначає майбутній рівень врожайності. Для досягнення точного та рівномірного висіву використовують сучасні технологічні рішення, здатні підтримувати необхідні параметри навіть під час інтенсивної роботи у полі. У 2019 році обсяг світового ринку технологій точного землеробства оцінювався в 5,9 мільярда доларів США, тоді як до 2026 року прогнозується зростання до 11,6 мільярда доларів США. Сучасні рішення точного землеробства включають навігаційні системи для різноманітної сільгосптехніки на основі GPS, геоприв'язані карти родючості ґрунтів і врожайності, а також системи змінного нормування внесення ресурсів. Вони спрямовані на підвищення продуктивності агровиробництва, зниження витрат та оптимізацію використання матеріалів, запобігаючи їх надмірному застосуванню.

Застосування посівних агрегатів точного висіву забезпечує операторів зворотним зв'язком у режимі реального часу та дозволяє коригувати налаштування прямо під час роботи. Це дає змогу враховувати просторову

неоднорідність полів у процесі сівби. Завдяки такій системі фермери можуть впроваджувати стратегії, що гарантують точне розміщення насіння у найбільш придатних місцях і в оптимальний час. Дотримання рекомендованих строків висіву має критичне значення для запобігання втратам врожаю, які можуть виникати через затримки.

Відстрочка посіву здатна зменшити потенційний врожай через скорочення тривалості вегетаційного періоду, підвищуючи ризик ураження шкідниками та хворобами, а також негативного впливу несприятливих погодних умов під час цвітіння. Оптимальні строки сівби залежать від регіону: на півдні вони починаються з середини квітня, на півночі — з середини травня.

Непередбачувані погодні умови часто призводять до того, що надмірна вологість ґрунту через дощі обмежує кількість сприятливих для посіву днів. Це змушує фермерів проводити роботи поза рекомендованими термінами. Наукові дослідження підтверджують, що будь-яке запізнення з висівом негативно впливає на урожайність.

Своєчасне завершення сівби потребує від агровиробників застосування спеціальних управлінських стратегій, особливо при збільшенні площ оброблюваних полів. До таких заходів належить підвищення швидкості сівби, що дозволяє обробити більшу кількість гектарів за обмежений час оптимальних умов. Водночас, зростання швидкості може спричинити нерівномірну глибину та розташування насіння, зважаючи на різну структуру ґрунту, рівень вологості, залишки попередніх культур та рельєф поля.

Ряд досліджень доводить, що рівномірність розміщення рослин та їх проростання безпосередньо залежить від швидкості сівби, що впливає на потенційну врожайність. Недотримання контролю глибини висіву на великих швидкостях призводить до затримки появи сходів і нерівномірності інтервалів. Дані експериментів показують зниження врожайності при збільшенні швидкості сівби від 6 до 12 км/год, що пояснюється нерівномірним розподілом насіння.

Аналогічно, нерівна глибина висіву негативно відображається на проростанні рослин, зменшуючи загальний урожай.

Сучасні агрегати точного висіву або звисайні просапні сівалки здатні підтримувати задану глибину та інтервал між насінням у різних польових умовах, регулюючи притискне зусилля. Додаткове навантаження змінюється залежно від характеристик кожного поля та визначається під час фактичного виконання сівби відповідно до умов конкретного ґрунту.

1.2 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур

Для ефективного функціонування в сучасному агровиробництві необхідно забезпечити високу продуктивність сільськогосподарських агрегатів, універсальне поєднання різноманітних робочих компонентів у межах одного обладнання, а також оперативне та безпечне пересування по дорогах загального користування.

Підсумовуючи, варто зазначити, що поряд із класичними вимогами до надійності та ефективності агротехнічних засобів, дедалі більше уваги приділяється їхній конкурентоспроможності, здатності виконувати комплекс функцій, універсальності та пристосованості до різних агрокліматичних і виробничих умов. Не менш важливим є оптимальне співвідношення вартості та якості, а також належна організація обслуговування. В сучасних реаліях виробники повинні діяти більш гнучко та швидко, враховуючи різноманітні запити кінцевих користувачів.

Подальше вдосконалення посівної техніки відбувається у кількох ключових напрямках: підвищення рівномірності подачі насіння та добрив до сошників; забезпечення точного і стабільного висіву на задану глибину; збільшення обсягів резервуарів для насіння та мінеральних добрив; а також скорочення часу, необхідного для переведення великогабаритних машин у

транспортне положення під час переміщень на значні відстані і повернення їх у робочий стан.

Незалежно від типу посівних агрегатів, головна тенденція їхнього розвитку полягає в підвищенні якості виконання технологічних операцій усіма вузлами машини. Для цього важливо ретельно підбирати тип і параметри робочих органів, з урахуванням специфіки конкретної ґрунтово-кліматичної зони.

За даними опитування керівників агропідприємств, серед пріоритетних характеристик сучасних сівалок на першому місці стоїть точність висіву, на другому — надійність техніки, а на третьому — оптимальне співвідношення ціна-якість. Чотири ключові чинники, що визначають врожайність під час сівби, включають норму висіву, відстань між рослинами в рядку, частку двійників і пропусків, а також рівномірність загортання насіння.

Дивним є те, що норма висіву має мінімальне значення впливу на врожайність. Набагато вагомішим чинником є відстань між рослинами, тобто точне розташування насіння, що суттєво визначає ефективність майбутнього урожаю. Не менш важливим аспектом залишається сінгуляція — частка двійників, трійників та пропусків у ряду. Виробники та дистриб'ютори сівалок приділяють значну увагу заходам, спрямованим на зменшення появи множинних насінин та пропусків, хоча це далеко не головний фактор. Всі ці дії переважно забезпечують рівномірне розміщення насіння на полі, тоді як найбільш вирішальне значення для врожайності має дружність сходів.

Цей показник враховує не тільки відсоток схожості насіння, а й однорідність і синхронність появи сходів. Рослини вважаються дружними, коли вони проростають протягом перших 36–48 годин після висіву. Якщо окрема рослина не з'являється впродовж двох діб, а більшість сусідніх уже проросли, то попередньо зійшли можуть її заглушити, що призводить до зниження врожаю.

Наступним кроком є з'ясування причин нерівномірного сходження. Дослідження та аналіз даних із систем точного землеробства надали важливу

інформацію з цього питання. Наприклад, було визначено, що на рекомендованій у літературі оптимальній для культури глибині загортання насіння вологість ґрунту варіювала від 18 до 62%. Для успішного проростання насіння на цій глибині мінімальна вологість повинна складати не менше 28%.

Дослідження підтвердили, що глибина посіву істотно впливає на проростання. Так, у одному експерименті насіння кукурудзи, закладене на глибину 7,5 см, де спостерігалася максимальна вологість, проросло майже повністю протягом визначеного часу. Насіння, посіяне на 5 см, практично не проросло через недостатню вологу, тоді як зерна, закладені на 2,6 см, залишилися без змін у очікуванні опадів. Таким чином, агроном постійно шукає оптимальний баланс: великі глибини забезпечують більше вологи, але зменшують енергію проростання, тоді як дрібні загортання покращують енергію, але можуть не забезпечити достатню вологість.

У одному з експериментів, проведених раніше в Україні, з'ясували, що правильний вибір навантаження на секцію сівалки має більш значущий ефект на кінцевий урожай, ніж малий відсоток двійників та пропусків. Наприклад, при оптимальному притискному зусиллі на посівній секції та однакових інших умовах врожай кукурудзи складав 150 ц/га. Якщо навантаження збільшували до максимуму, врожай знизився до 138 ц/га. При зменшенні притискного зусилля до 75 кг врожайність опускалася до 133 ц/га. Це свідчить, що недостатнє притискне зусилля рідко перешкоджає роботі сошника. Водночас багато українських фермерів застосовують легкі сівалки для просапних культур, де притиск не перевищує 75 кг.

Кожен агроном розуміє необхідність коригування глибини посіву або притискного зусилля залежно від умов ґрунту. На практиці не всі виробники готові змінювати налаштування сівалки при переході на нове поле, оскільки це займає години роботи, які можна використати більш продуктивно у сезон.

В останні роки розвиток технологій точного землеробства дозволяє регулювати притискне зусилля безпосередньо з кабіни, секційно, подібно до того, як раніше стало можливим автоматично коригувати норму висіву. Проте такі технології є дорогими: сучасна імпортна пневматична сівалка з усіма сучасними системами точного землеробства коштує від 50 до 100 тис. дол.

1.3 Аналіз досліджень систем керування притискним зусиллям сівалок

Рівномірне розподілення насіння, яке охоплює як рівність відстаней між окремими рослинами, так і стабільну глибину висіву, потребує здатності контролювати притискну силу у змінних польових умовах, особливо під час роботи на високих швидкостях. Основним завданням посівних машин є забезпечення точного розміщення насіння у ґрунті, що створює сприятливі умови для одночасного проростання та рівномірного розвитку сходів. Важливим є правильне розташування насіння, щоб підтримати необхідний рівень вологості для проростання і уникнути негативного впливу несприятливих факторів на молоді рослини.

Контроль над укладанням насіння може ускладнюватися при збільшенні робочої швидкості агрегату. Зростання швидкості роботи сівалки може викликати підстрибування насіння у насіннепроводах, що спричиняє нерівномірне розміщення та коливання глибини закладення. Дослідження підтверджують критичну важливість дотримання оптимальної глибини посіву, оскільки надмірна або недостатня глибина може суттєво знизити майбутній урожай. Саме глибина висіву є одним із основних чинників, що визначають терміни появи сходів та інтенсивність вегетативного розвитку рослин. Так, час до появи перших паростків значно подовжується при збільшенні глибини посіву від 3,4 см до 7 см.

Подібні дослідження проводилися для кукурудзи у тепличних умовах, зокрема з вивченням впливу різних глибин на швидкість і рівень проростання. Експерименти, виконані за допомогою високоточних сівалок, не виявили суттєвих відмінностей у рівномірності висіву при зміні глибини. Водночас найбільш швидке проростання спостерігалось при посіві на глибині близько 5 см. Крім того, робота сівалки на підвищених швидкостях провокує вібрацію рядків, що може призвести до зменшення опору коченню коліс через неефективне використання притискної сили. Визначення оптимальної величини притискного навантаження при змінних ґрунтових умовах та зростанні швидкості є непростим завданням: необхідно забезпечити достатню силу, щоб висівний вузол залишався в контакті з ґрунтом, але водночас уникнути надмірного ущільнення стінок ложа для насіння.

Під притискною силою розуміють додаткове навантаження на висівний механізм сівалки, що дозволяє досягти необхідної глибини закладання насіння. Воно формується з ваги агрегату та додаткового тиску, який створюється механічними пружинами, пневматичними або гідравлічними системами, здатними адаптуватися до зміни властивостей ґрунту. Попередні дослідження показали, що надмірне навантаження негативно впливає на глибину висіву та схожість насіння кукурудзи. Використання занадто великої притискної сили під час сівби призводить до надмірного ущільнення зони закладання насіння, тоді як недостатня сила не забезпечує потрібної глибини. Обидві ситуації негативно позначаються на розвитку кореневої системи та спричиняють нерівномірне проростання рослин, що у кінцевому результаті може знизити врожайність.

Відомі дослідження, в яких вивчали розташування насіння з урахуванням застосування різних типів дискових сошників та значень притискного навантаження [14]. Результати експериментів показали, що при мінімальній силі притискання спостерігалася недостатня глибина закладання насіння, що негативно впливало на їх проростання. Схожі висновки зробили [6] під час

статичних випробувань посівного агрегату, які показали значний ефект на час появи сходів та фактичну глибину висіву через вплив статичного тиску на опорні колеса висівних секцій. Таким чином, ключовими параметрами ефективності роботи сівалки, які визначають розвиток рослин, є сила навантаження на опорні колеса секцій та швидкість роботи агрегату. Саме ці фактори впливають на важливі характеристики процесу посіву, включаючи досягнуту щільність насіння, однорідність появи сходів та фактичну глибину закладення.

Варто зазначити, що окремий параметр рідко визначає кінцеву структуру рослинних насаджень на полі; зазвичай результат формується через взаємодію кількох факторів під час посіву. Ряд досліджень [12] розглядав вплив робочої швидкості агрегату на формування насаджень, проте публікацій, які б дозволяли оцінити одночасний ефект різних режимів притискної сили при змінних швидкостях, наразі не існує.

Попередні експерименти виявили коливання навантаження на опорні колеса висівних секцій навіть при фіксованих налаштуваннях додаткового притискного зусилля під час польових робіт. Це підкреслює необхідність подальших досліджень, що дозволять кількісно оцінити вплив змін швидкості посіву та налаштувань притискання на рівномірність розподілу насіння по площі. Відповідно, головною метою даного дослідження було: 1) визначити, як швидкість руху агрегату та параметри притискної сили впливають на інтервали між рослинами та глибину їх закладання; 2) дослідити взаємозв'язок між швидкістю роботи і вібраційним режимом висівного апарату при зміні навантаження на опорні колеса секцій та його наслідки для точності висіву.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Налаштування обладнання та приладів

Для проведення дослідження процесу посіву застосовувалися висівні машини *Horsch Maestro 30 SW* (виробництво Horsch, Німеччина) з можливістю регулювання норми висіву та окремих секцій, які агрегувалися з трактором *John Deere 8250R*. Висівні секції сівалки були розташовані через інтервал 70 см, всього 12 секцій. Керування посівним агрегатом здійснювалося за допомогою бортового комп'ютера *2630 John Deere (GreenStar – 3, Deere and Company)*, що підключався до електронного блоку керування (ECU, або ЕБК) сівалки через інтерфейс *ISOBUS*. Машина була запрограмована для автоматичного управління секціями шляхом включення та вимкнення приводних електродвигунів (*BG 45x15 SI, Dunkermotoren*) окремих висівних елементів залежно від інформації про вже засіяні площі, що надходила через GPS.

ЕБК використовував поточну швидкість руху, отриману з GPS, для розрахунку необхідних обертів електродвигуна, щоб забезпечити точну кількість обертів диска висівного апарату. Для контролю фактичного висіву насіння був встановлений датчик *Hu Rate Plus (Dickey – John Corp.)*, розташований вздовж насіннепроводів усіх секцій. Він надавав зворотний зв'язок щодо кількості висіяного матеріалу, наявності двійників і пропусків, інформація з якого відображалась на моніторі комп'ютера. Кожна висівна секція оснащувалася заводськими тензодатчиками або аналогічними сенсорами (*6784, Horsch Maschinen*), призначеними для вимірювання навантажень у діапазоні від 0 до 1000 кгс із аналоговим лінійним сигналом 3,0–20,0 мА.

Сенсори попередньо калібрували для встановлення відповідності між значенням вихідного сигналу в мА та реальним навантаженням у кгс.

Калібрування здійснювалося шляхом застосування контрольних ваг, після чого побудована регресійна залежність дозволяла перетворювати сигнал з датчика в фактичне навантаження на колесо.

Висівні секції були об'єднані у «керуючі секції» (рис. 8), де на кожній під час посіву встановлювався датчик для вимірювання тиску масла в гідравлічній системі в реальному часі. Дані про тиск свідчили про стабільну роботу гідравліки, що забезпечувала постійний притиск секцій до ґрунту.

Керуюча секція 1 включала перші три ряди висівних елементів (ряди 1–3), секція 2 — центральні ряди (ряди 6–7), секція 3 — останні три ряди (ряди 10–12), а секція 4 охоплювала ряди, що проходили вздовж слідів шин (ряди 4, 5, 8–9). Секції 1, 2 і 4 були обладнані перетворювачами тиску з діапазоном 0–25 мПа та вихідним сигналом 4,0–20,0 мА (*HDA 844L – A – 0250 – 161, Glendale Heights*), тоді як секція 2 мала перетворювач з межами 0–52,0 мПа і вихідним сигналом 0,5–4,5 В постійного струму (*KM41, Ashcroft Inc., Stratford*).

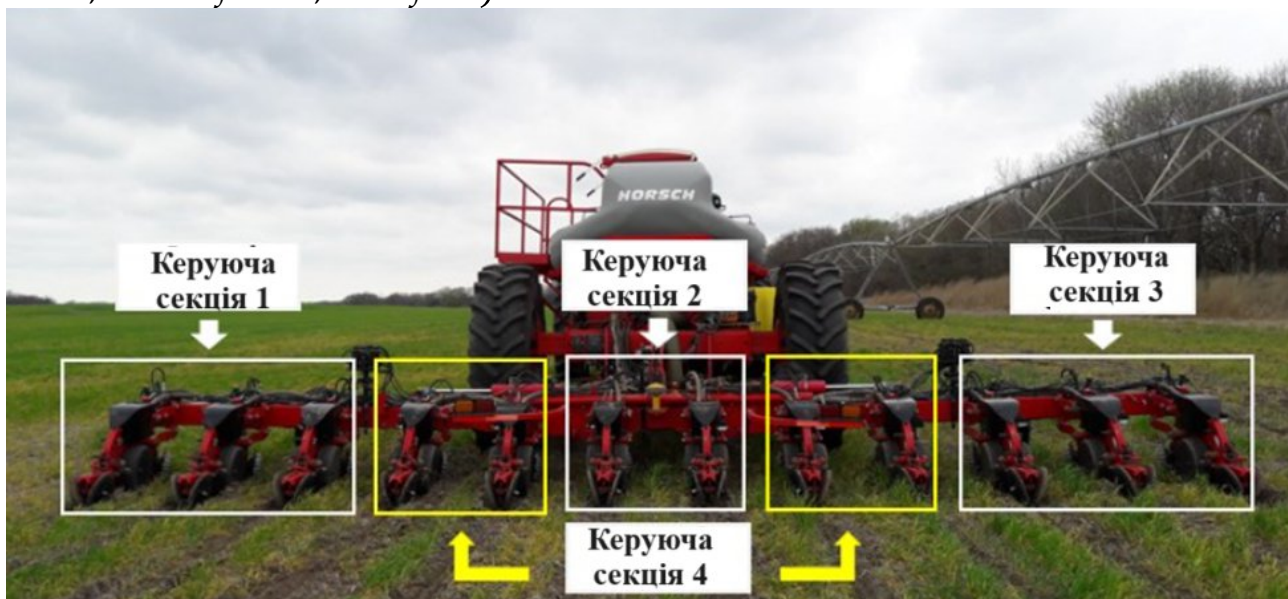


Рис. 8 - Панель інструментів посівної машини розділена на 4 різні секції керування

Для реєстрації вібрацій під час роботи чотири висівні ряди (1, 6, 7 і 14) були оснащені акселерометрами (3741E1210G, *PCB Piezotronics*). На одній секції додатково встановили потенціометр (424A11A090B, *Elabou Sensor Tech.*) для вимірювання вертикальних переміщень панелі висівного обладнання у межах 0–90°, із вихідним сигналом 3,0–23,0 мА. GPS-модуль високої точності (*GR5, TPS, Inc., США*) використовувався для одночасного визначення місцезнаходження машини та її швидкості під час посіву.

Усі датчики — навантаження, тиску, акселерометри, потенціометри та GPS-блоки — були підключені до шасі *NI cRIO* через модулі серії *C* (*National Instruments, Austin, TX*). Сигнали зчитувалися з частотою 10 Гц за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення *LabVIEW*, що працювало на ноутбуку *Dell Latitude 14 3470 (Round Rock)*.

2.2 Розмітка поля

Схема розташування експериментальних пробних ділянок показана на рис. 9. Для дослідження було обрано два рівні навантаження, які формують низьку та високу притискну силу. Під час консультацій із виробниками техніки та співавторами визначили цільове навантаження на одне колесо (НК) для низької сили — 63 кг, що далі позначене як «активне низьке налаштування», а для високої притискної сили обрали 100 кг, яке називається «активне високе налаштування».

Польові випробування проводили на шести ділянках довжиною по 150,0 метрів. Експеримент мав два фактори: рівень притискної сили — 63,0 кг та 100,0 кг (D1 і D2) та робочу швидкість агрегату з чотирма значеннями: 7,3 км/год, 9,5 км/год, 12 км/год і 16,2 км/год (S1 – S4). Кожну дослідну ділянку ділили на чотири рівні субділянки, де навантаження на колесо призначали випадковим чином для всієї ділянки, а швидкість агрегату рандомно встановлювали для кожної субділянки окремо. На кожній ділянці розташовано 12 рядків, а на протязі

15 м одного з них випадковим чином проводили вимірювання відстані між рослинами та фактичної глибини посіву. Такий підхід дозволяє отримати репрезентативну вибірку, яка адекватно відображає умови на всьому полі.

Активне низьке налаштування реалізували шляхом створення гідравлічного тиску 120 Бар, тоді як для активного високого налаштування використовували тиск 146 Бар. Норма висіву становила 84 000 нас. на гектар, що відповідає цільовому інтервалу між рослинами 17,6 см. Глибину посіву встановлювали на рівні 5,2 см, регулюючи вручну штифт у відповідний отвір секції.

Для обробки даних застосували дисперсійний аналіз за допомогою процедури *GLIMMIX* у *SAS University Edition* (версія 2018). Порівняння середніх значень здійснювали за методом ЛСД Фішера (найменш значущої різниці). Усі ефекти вважали статистично значущими при рівні ймовірності 0,05, якщо не зазначено інше.



Поле А **Поле В**
Рис. 9 - Аерофотознімки полів із позначенням розташування дослідних ділянок

2.3 Опис поля

Дослідження було проведено на двох полях: перше — площею 26,10 га, яке надалі позначатиметься як поле А, та друге — площею 43,10 га, далі іменоване як поле В. На полі А впроваджували систему нульового обробітку з використанням покривних культур (рис. 10а), тоді як поле В характеризувалося смуговим способом обробітку ґрунту (рис. 10b). Для обох ділянок проводили вимірювання електропровідності ґрунту (ЕП) за допомогою сенсорної платформи *Verismobile (MSP) (EC Surveyor 3150, Veris Tech., Саліна, США)*. Під час збору даних про електропровідність застосунок Veris EC Mapper у MSP розділив кожне поле на зони з низьким, середнім та високим рівнем ЕП. Кожна



a

b

з цих зон була визначена як цільова для подальшого відбору ґрунтових проб, які планувалося брати після проведення вимірювань.

Рис. 10 - (а) Поле А з покривними культурами, і (b) Поле В зі смуговим обробітком

Таблиця 1- Структура ґрунту для полів А і Б

Структура	Field A	Field B
Частка піску	28,0	18,7
Частка мулу	50,3	57,0
Частка глини	21,7	24,3
ЕП (мСм/см)	0,9	0,8

З кожного поля відібрали по 9 ґрунтових зразків, по три з трьох різних зон, з глибини 30 см, використовуючи пробовідбірник *Classic Soil Probe* з насадкою діаметром 1,9 см (тип *L, Oakfield Apparatus*). Відібрані зразки передавалися до спеціалізованої лабораторії для оцінки структури ґрунту. Основні показники структурних характеристик ґрунтів обох полів наведено в таблиці 1.

2. 4 Збір польових даних

Відстань між окремими рослинами в рядку (інтервал) визначали після того, як з'явилися повні сходи. Для цього стандартну вимірювальну стрічку розташовували вздовж смуги довжиною 14 м і фіксували фактичні значення проміжків між рослинами. Теоретичну відстань між рослинами обчислювали, враховуючи заплановану густоту посіву та ширину міжрядь сівалки.

Згідно з встановленою популяцією рослин і заданою відстанню між рядками, розрахована теоретична величина інтервалу між рослинами становила 17,8 см. Оскільки сам по собі показник стандартного відхилення не відображає рівномірність розміщення рослин, додатково визначали кількість пропусків і двійників, а також точність, щоб кількісно оцінити узгодженість фактичних проміжків у рядку щодо теоретичної величини (St).

Іншими словами, показники рівномірності розташування рослин у цьому досліді відповідали стандартам Міжнародної організації стандартизації, які були використані під час оцінки. До них належали індекс пропусків, індекс кратності

та точність. Індекс кратності (D) характеризує кількість інтервалів у кожному ряду, що менші або дорівнюють $0,6 St$, і розраховується за відповідною формулою:

$$D = \frac{nD}{N},$$

де nD — кількість замірених інтервалів, що менші або рівні $8,25$ см.

N - загальна кількість інтервалів, виміряних в кожному ряду.

Міс-індекс (M) показує кількість пропусків в кожному ряду, які в $1,4$ рази перевищують значення St . Цей індекс розраховували за формулою:

$$M = \frac{nM}{N},$$

де nM — значення вимірної відстані між рослинами в ряду, яке перевищує $24,75$ см.

Індекс якості живлення (A) показує частку вимірених інтервалів на кожному ряду, довжина яких знаходиться в межах $0,5$ та $1,4 St$. Для обчислення цього індексу користувались наступною формулою:

$$A = nA/N,$$

де nA - це кількість замірених інтервалів, які знаходяться в межах $8,25...24,75$ см. Індекс точності або прецизійності (C) кількісно характеризує мінливість інтервалу між рослинами за виключенням кількості пропусків та двійників. Менші значення вказують на меншу мінливість інтервалів.

Визначення глибини посіву здійснювали шляхом обережного підкопування насінин вже пророслих рослин вручну та подальшого вимірювання відстані від поверхні ґрунту до насінини. Підкопування виконували, поступово зіскрібаючи верхній шар пухкого ґрунту до насінини, а плоску рейку розташовували вздовж борозни відповідно до напрямку руху сівалки. Для фіксації глибини висіву використовували стандартну лінійку довжиною $0,5$ м, встановлюючи її

перпендикулярно до рейки з нульовою позначкою біля насінин. Всі результати реєстрували з точністю до одного сантиметра.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХ АНАЛІЗ

3.1 Відстань між рослинами

Середній інтервал між рослинами, індекс пропусків, індекс якості живлення, індекс точності та множинний індекс на полях А і В приведені в табл. 2.

Таблиця 2 - Середня відстань між рослинами, індекс якості живлення, індекс пропусків, множинний індекс і індекс точності під впливом налаштування притискової сили.

Поле	Налаштування притискової сили	Інтервал, см	Індекс якості живлення, %	Індекс пропусків, %	Множинний індекс, %	Індекс точності, %
А	D1	18,2	85,0	8,4	4,1	27,7
	D2	18,4	87,5	10,2	4,8	24,5
В	D1	17,9	87,1	7,4	5,5	22,1
	D2	18,1	87,8	7,6	4,7	20,5

Результати дослідження свідчать, що величина притискової сили не вплинула на середній інтервал між рослинами на обох дослідних полях у даному випробуванні. Дані, отримані при встановлених значеннях НК 65 кг та 100 кг, виявилися подібними до тих, що показували, що понижений тиск у межах 16–80 кг практично не змінював середній інтервал між рослинами. Незважаючи на незначну різницю, значення притискової сили D2 забезпечило найбільшу варіабельність відстаней між рослинами на обох ділянках.

Це дозволяє зробити висновок, що обидва рівні притискової сили можуть бути недостатніми для зменшення коливання висівних секцій через присутність покривної культури та рослинних решток на полі. У результаті зростає кількість пропусків (індекс пропусків) та значення множинного індексу, що негативно позначилося на показнику якості живлення (сингуляції) та індексі точності. Показник якості живлення відображає, наскільки фактичні інтервали

відповідають номінальним, і високі значення демонструють більш ефективний посів.

Водночас індекс точності показує змінність інтервалів після виключення пропусків та подвійних насінин із розрахунку. Нижчі значення цього показника свідчать про кращу ефективність роботи сівалки. Отримані результати підтверджують гіпотезу про те, що висока кількість рослинних решток на поверхні поля може знизити продуктивність висівного обладнання. Це підкреслює необхідність застосування більшої притискної сили для втоплення залишків у ґрунт та зменшення підстрибування секцій.

На полі В використання обох рівнів притискної сили забезпечило зниження мінливості відстаней між рослинами. Хоча на оброблених ділянках із малою кількістю пожнивних залишків очікувалась більш рівномірنا посадка, наявність грудок ґрунту могла спричиняти коливання секцій, що впливало на точність розміщення насіння.

Таблиця 3 демонструє, що середній інтервал між рослинами може збільшуватися при підвищенні швидкості посіву, особливо на полі без обробітку ґрунту. На обох ділянках максимальні відстані між рослинами були зафіксовані при 16,1 км/год, при цьому спостерігалася тенденція до збільшення інтервалів зі зростанням швидкості агрегату. Це свідчить про зниження точності розміщення насіння під час прискореного руху сівалки. Причиною нерівномірності можуть бути вібрації висівного апарата, які спричиняють підстрибування насіння вздовж насіннепроводу або в ложі насіння.

Посів із швидкістю до 14 км/год забезпечував стабільне розташування рослин на обох полях, що відображалося у показниках PSV в межах оптимального значення та низькій частоті пропусків і двійників. Проте при швидкості 16,2 км/год притискної сили секційного навантаження може бути недостатньо для зменшення вібрацій, що підвищує середню відстань між рослинами та знижує рівень точності посіву.

Таблиця 3 - Середня відстань між рослинами, індекс якості живлення, індекс пропусків, множинний індекс і індекс точності залежно від швидкості руху на трьох ділянках поля

Поле	Робоча швидкість, км	Інтервал, см	Індекс якості живлення, %	Індекс пропусків, %	Множинний індекс, %	Індекс точності, %
А	7,2	18,0	93,5	5,3	1,2	22,7
	9,6	18,1	88,9	9,2	4,3	25,0
	12,0	17,5	87,6	7,9	4,5	27,3
	16,1	19,5	77,5	14,8	7,7	29,5
В	7,2	17,6	92,0	4,6	3,4	18,3
	9,6	18,0	87,7	7,0	5,3	19,9
	12,0	18,0	88,2	9,0	2,9	21,6
	16,1	18,3	81,9	9,4	8,7	25,4

Отримані результати свідчать про те, що за описаних умов експерименту обраний рівень притискного зусилля для всіх варіантів налаштувань забезпечував достатню ефективність для рівномірного розташування рослин при висіванні зі швидкістю до 14 км/год. Водночас, виконання посіву за технологією No-Till і при швидкості руху, що перевищує 14 км/год, потребує додаткового підвантаження, щоб забезпечити бажану однорідність розподілу насіння.

Взаємодія між швидкістю руху сівалки та величиною притискного зусилля мала помітний вплив на глибину висіву в двох точках на полі (рис. 12 і 13). Це демонструє, що глибший посів можна отримати при підвищеному налаштуванні притискної сили (D2) та збільшенні швидкості руху машини.

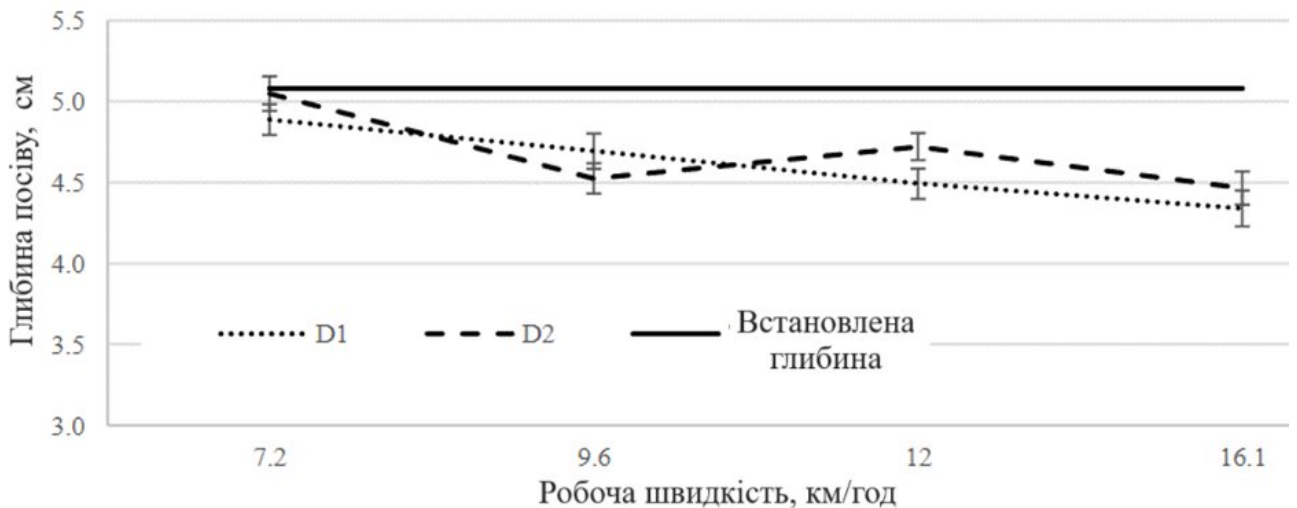


Рис. 12 - Зміна глибини посіву залежно від швидкості та величини притискної сили на полі з no-till. Лінії похибок показують 95% довірчий інтервал у середніх значень

На полі без попереднього обробітку ґрунту не було помітної різниці у глибині висіву між двома налаштуваннями притискного зусилля D1 і D2 при швидкостях 7,4 та 9,4 км/год. Спостерігалось, що фактична глибина посіву мала тенденцію до зменшення при застосуванні притискної сили D1 у разі підвищення робочої швидкості з 14 до 16,2 км/год. Для обох значень притискного зусилля глибина посіву на швидкості 9,4 км/год була нижчою від цільового показника. Це свідчить про те, що встановлене нормоване навантаження (НК) виявилось недостатнім для підтримки глибини висіву на обраному полі (Рис. 12). Разом із тим, результати вказують на те, що таке НК може бути недостатнім для забезпечення постійного контакту висівних секцій із ґрунтом через сошникові диски, які потребують додаткового притискання для занурення на задану глибину, особливо при підвищенні швидкості руху на необробленому полі.

Наявність поверхневих рослинних решток також могла призвести до нерівномірного формування глибини посіву, оскільки опорне колесо через щільні залишки іноді «плавало», що зменшувало занурення сошникового диска. Пожнивні рештки та покривна культура здатні додатково знижувати глибину

загортання насіння, особливо при меншому значенні притискної сили, що вимагає підвищеного навантаження для ефективного стискання цих матеріалів і забезпечення досягнення необхідної глибини диском.

Отримані результати демонструють зменшення глибини посіву через додатковий шар, утворений ущільненими рослинними рештками, що підкреслює потребу у більшому прижимному тиску для стабілізації глибини висіву. На полі зі смуговим обробітком при притискній силі D2 сівалка загалом забезпечувала глибину висіву, вищу за задану, за винятком швидкості 16,2 км/год (Рис. 13). Це свідчить про те, що обране налаштування притискного зусилля є достатньо високим для цього дослідного поля, що призводить до збільшення глибини загортання та може сприяти додатковому ущільненню бічних стінок борозни.

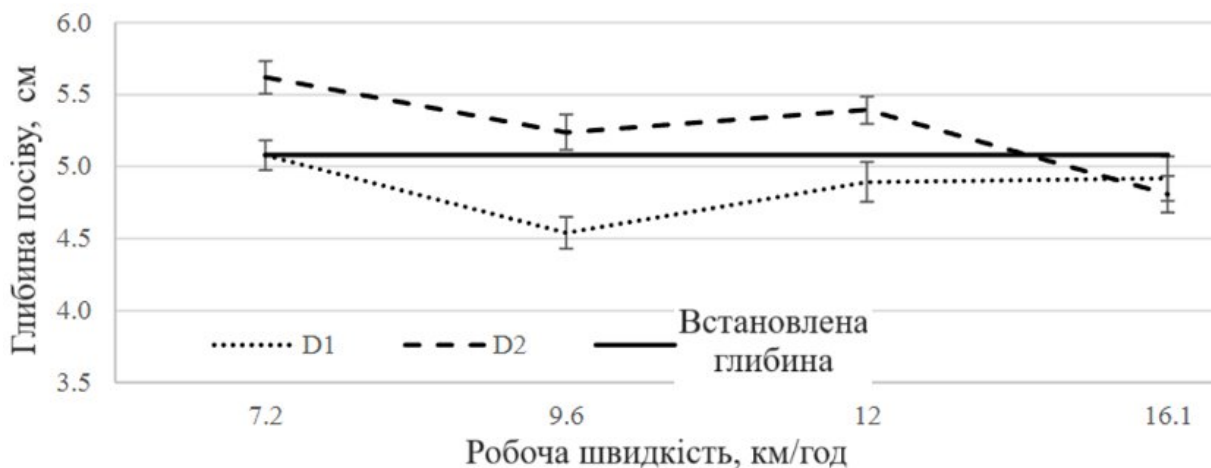


Рис. 13 - Залежність глибини посіву від швидкості руху та величини притискної сили на полі з обробітком. Смужки похибок для середніх значень позначають 95% довірчий інтервал.

Для притискної сили D1 глибина посіву відповідала цільовому рівню на швидкості 7,4 км/год, але зменшувалася при підвищенні швидкості руху. Така тенденція вказує, що менша притискна сила може бути адекватною для низьких швидкостей, проте при збільшенні руху агрегату може виникнути потреба в додатковому навантаженні для забезпечення достатнього тиску на сошниковий диск і правильного формування насінневого ложа.

На обох полях глибина висіву мала тенденцію до зменшення із зростанням швидкості руху, що відображає зменшення опору коченню, який ускладнює занурення диска на необхідну глибину. Подібні спостереження узгоджуються з результатами інших дослідників [16], де повідомлялося, що підвищена швидкість руху могла спричиняти надмірне руйнування ґрунту та викидання частини матеріалу за межі борозни, що призводило до мілкішого загортання насіння. Таким чином, зменшена глибина при високих швидкостях може бути пов'язана з обмеженою здатністю системи контролю глибини утримувати заданий рівень, оскільки потреба в тяговому зусиллі зменшується із зростанням швидкості агрегату.

3.2 Вібрація висівного агрегату та навантаження на колеса

Вібраційні коливання висівного блока вимірювали із застосуванням акселерометра, який фіксував величину переміщень окремих вузлів, як показано на рисунку 14. Обидва встановлені рівні притискного зусилля демонструють майже однакове послідовне використання НК для всіх режимів швидкості посіву (рис. 14 та 15).

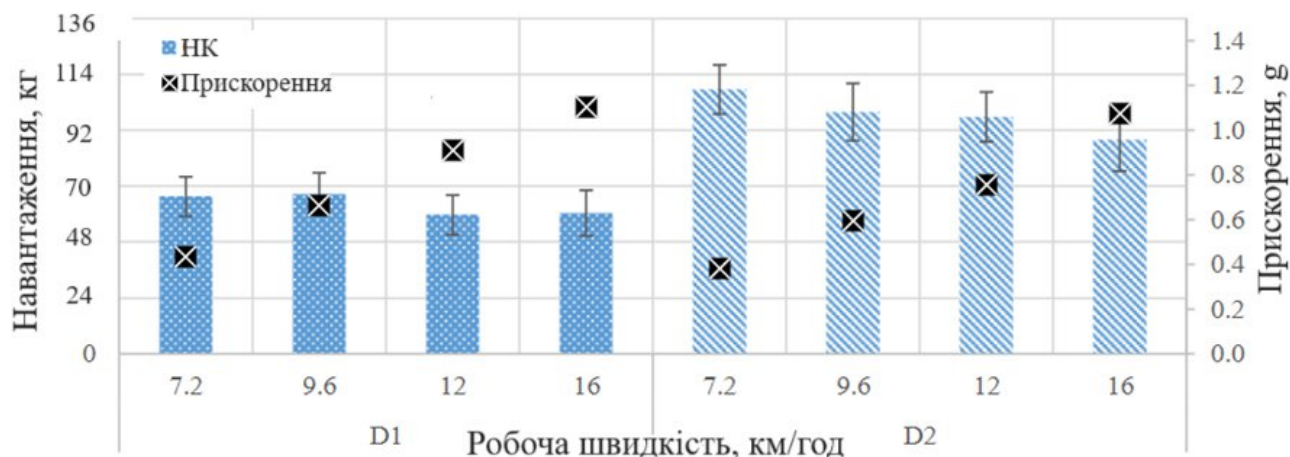


Рис. 14 - НК та прискорення секції при зміні швидкості руху на полі з обробітком. Смужки для середніх значень помилок показують 95% довірчий інтервал

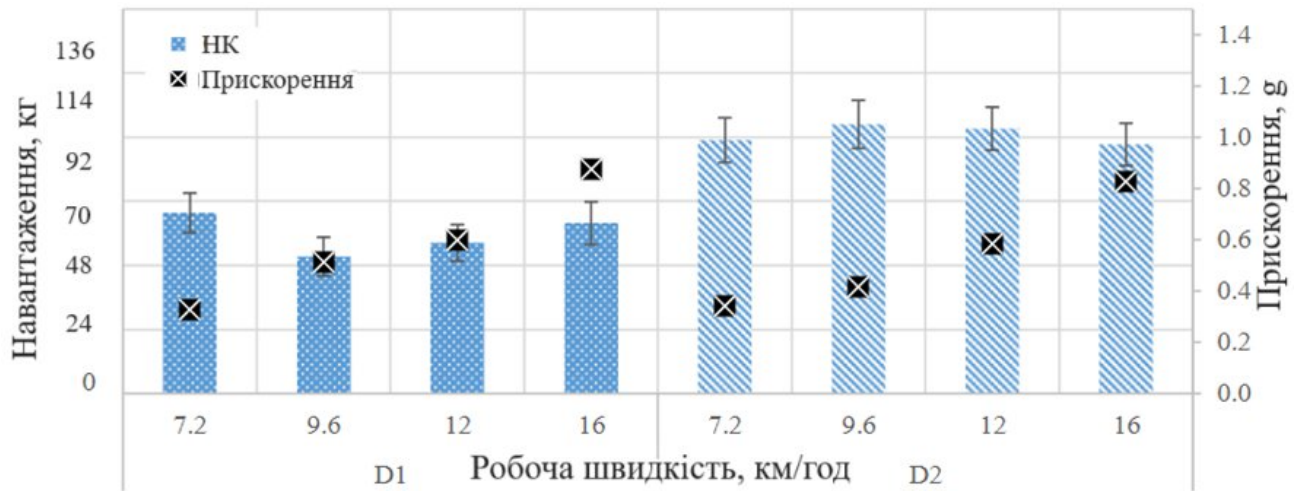


Рис. 15 - НК та прискорення секцій при зміні швидкості агрегату на полі без обробітку. Смуги для середніх значень помилок показують 95% довірчий інтервал

У той час як навантаженість опорного колеса залишалася приблизно на одному рівні для встановлених значень притискних сил D1 і D2 у обох полях, відскок висівної секції збільшувався пропорційно зростанню швидкості руху агрегату. Подібні спостереження були зафіксовані в дослідженні авторів [14], де зазначалося, що підвищення швидкості посіву може призводити до більш інтенсивної вібрації висівного механізму, викликаній відскоками від поверхні ґрунту, що, у свою чергу, підвищує варіативність (коефіцієнт варіації) середніх показників НК. Вібраційні коливання дозатора здатні впливати на однорідність розподілу насіння, а зміни величини притискного навантаження можуть свідчити про надмірне або недостатнє прикладення додаткового НК, що може позначатися на точності глибини посіву. Ці результати підкреслюють необхідність використання більших налаштувань притискної сили при збільшенні швидкості руху для забезпечення оптимальних значень НК, що сприятиме рівномірному розміщенню насіння та точному дотриманню глибини посіву.

ВИСНОВКИ

Ці дослідження надали низку важливих висновків. По-перше, не було зафіксовано відмінностей у відстані між рослинами при використанні налаштувань притискної сили D1 та D2, що відповідали цільовим значенням 63 кг та 100 кг. Збільшення швидкості руху спричинило більш широкий інтервал розміщення рослин на полі без обробітку. У обох експериментальних ділянках точність висіву, визначена через індекс точності, знижувалася при швидкості 9,6 км/год і вище, що вказує на погіршення розміщення насіння зі зростанням швидкості руху. Такий ефект можна пояснити підвищеною швидкістю роботи висівного блоку або вібраціями, що спричиняють стрибкоподібний рух насіння всередині насінневої трубки.

По-друге, параметри швидкості руху та величини притискної сили безпосередньо впливали на глибину закладання насіння. Використання більшої притискної сили (D2) при невеликій швидкості ґрунту дозволило досягти оптимальної глибини посіву, проте вона поступово ставала меншою зі зростанням швидкості на полі без обробітку. У випадку з нижчим налаштуванням притискної сили (D1) глибина посіву залишалася постійно низькою на всіх швидкостях руху. Це свідчить, що на полі без обробітку потрібна підвищена притискна сила, особливо при високих швидкостях, щоб сошникові диски отримували достатнє навантаження для прорізання ґрунту, подолання опору пожнивних решток та покривних культур і забезпечення необхідної глибини посіву.

Крім того, більша притискна сила запобігає можливому відриву висівного агрегату від поверхні ґрунту, що могло б зменшити глибину закладання насіння. Максимальна глибина була досягнута при застосуванні високої притискної сили на швидкості до 14 км/год, тоді як низьке навантаження дозволяло досягти

цільової глибини лише при повільнішому пересуванні агрегату. Також у двох польових умовах спостерігалось збільшення відскоку висівного обладнання зі зростанням швидкості, що могло підвищити вібрацію дозатора насіння та негативно вплинути на рівномірність розподілу насіння.

Отримані результати свідчать, що універсальна настройка притискної сили не підходить для різних полів, оскільки характеристики ґрунту, кількість решток та покривних культур можуть відрізнятися. Навантаження, що є оптимальним для одного поля, може виявитися недостатнім або надмірним для іншого. Таким чином, правильний підбір притискної сили відповідно до конкретних польових умов необхідний для забезпечення рівномірного розміщення насіння, особливо при високих швидкостях руху. Вплив змін глибини посіву та інтервалу між рослинами на урожайність є важливим напрямом для подальших досліджень.

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. 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-stroktiv-ta-norm-visivu-na-urojainist-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. Карабиньош, Ю. Новицький // Пропозиція, № 5. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://propozitsiya.com/ua/sposib-ocinky-tochnosti-vysivu>.

21. Shannon D., Clay E., Kitchen N. (2018). Precision Agriculture Basics. American Society of Agronomy, Incorporated, 230p.
22. Jupp L. (2018). Precision Farming From Above. Writing Matters Publishing, 113 p.
23. Zubko V., Sirenko V., Kuzina T., Onychko V., Sokolik S., Roubik H., Koszelg M., Shchurh T. (2022) Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. Agricultural Engineering, Vol. 26 , No 1 , pp. 25-37 DOI: 10.2478/agriceng-2022-0003.
24. Delta Force [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.precisionplanting.com/products/product/deltaforce>.
25. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. Мельника В. І. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с