

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

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Шуляк М.Л.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження впливу системи контролю прижимного зусилля висівних секцій посівної машини на показники якості посіву кукурудзи»

Виконав:

(підпис)

Мачушко А.М.

(Прізвище, ініціали)

Група:

СТЗ 2301-2м

(Науковий) керівник:

(підпис)

Лебедев А.Т.

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота представлена на 41 сторінці машинописного тексту пояснювальної записки, що містить 3 таблиці, 15 рисунків, додатків 2, 25 літературних джерел.

Ключові слова: ПОСІВ, ЯКІСТЬ, ПОСІВНИЙ АГРЕГАТ, РОБОЧА ШВИДКІСТЬ, ПРИТИСКНЕ ЗУСИЛЛЯ.

Метою цього дослідження було оцінити вплив швидкості руху та налаштувань притискної сили на відстань між рослинами та глибину посіву і оцінити взаємозв'язок швидкості висіву та вібрації висівного агрегату на навантаження коліс. Для посіву кукурудзи на полях без обробітку та смугового обробітку використовувалася 12-рядна сівалка. Факторами впливу були налаштування притискної сили з двома рівнями: 63 кг і 100 кг і швидкість руху з чотирма рівнями: 7,2, 9,7, 12,1 і 16,1 км/год. Сівалку було запрограмовано на посів кукурудзи на глибину посіву 5,1 см із нормою висіву 84 000 насінин на гектар, що еквівалентно теоретичній відстані між рослинами 17,8 см. Значного впливу притискної сили на відстань між рослинами на обох полях не спостерігалось, хоча більш високе налаштування притискної сили призвело до вищої точності розміщення між рослинами. 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.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Стан питання і задачі дослідження.....	7
Аналіз конструкцій просапних сівалок	7
1.2 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур.....	16
1.3 Аналіз досліджень систем керування притискним зусиллям сівалок.....	19
2 Методика досліджень.....	22
2.1 Налаштування обладнання та приладів.....	22
2.2 Розмітка поля.....	24
2.3 Опис поля.....	25
2.4 Збір польових даних.....	27
3 Результати досліджень і їх аналіз.....	29
3.1 Відстань між рослинами.....	29
3.2 Вібрація висівного агрегату та навантаження на колеса.....	34
Висновки.....	36
Список використаних джерел.....	38

ВСТУП

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

В останні роки спостерігається тенденція переходу від механічних до пневматичних висіваючих системам, в основу яких покладено принцип розподілу і транспортування насіння за допомогою повітряного потоку, або вакуумного присмоктування. Висіваючий апарат - це один з елементів сівалки, що відповідає за рівномірне дозування висіваного матеріалу і подальшу його подачу до сошникових груп. Застосування пневматичної висіваючої системи має ряд переваг - зниження відсотка пошкодження (дроблення) насіння, компенсування швидкості руху трактора і швидкості переміщення дозованого матеріалу по насіннепроводам до сошникових груп.

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

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз конструкцій просапних сівалок

Розвиток технологій механічних сівалок для просапних культур пройшов значний шлях від їхнього скромного початку наприкінці XVIII століття. З часом розміри сівалок суттєво зросли, а також були впроваджені різні інновації, спрямовані на постійне підвищення їхньої ефективності на полі.

Сівалка для посіву просапних агрокультур — це знаряддя, яке зазвичай причіплюється до трактора за допомогою дишла або триточкової зчіпки. Її розмір визначається кількістю висівних секцій, розміщених на рамі, і може варіюватися від 4 до 54 секцій (Рис. 1) з міжряддям у діапазоні 20, 24 або 28 дюймів.



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

Основна функція сівалок для просапних культур полягає в точному розміщенні окремих насінин уздовж рядків із заданою відстанню та глибиною. Конструкція просапної сівалки включає чотири ключові системи або механізми, які забезпечують процес посіву.

Дозування насіння є ключовим елементом роботи сівалки. Воно передбачає розподіл насіння на рівні відстані відповідно до запланованої норми висіву. Зазвичай використовуються такі системи вимірювання, як

пальцевий датчик або вакуумний дозатор (рис. 2). Пальцеві дозатори можуть точно відбирати насінини різних форм і розмірів без потреби заміни висівної пластини. Насіння фіксується між пальцем або чашкою та нерухомою пластиною під час обертання пальців у дозувальному вузлі. Пружина забезпечує надійне утримання насіння до моменту, коли воно досягає випускного отвору та потрапляє в систему подачі.

У вакуумних дозаторах ця система застосовує різні висівні диски залежно від типу культури, забезпечуючи при цьому точніше дозування насінин порівняно з пальцевим типом. Частковий вакуум добре утримує насінини в отворах або пазах висівного диска. Коли диск доходить до випускного отвору, екстрактор припиняє дію вакууму, що дозволяє насінню впасти в систему подачі.



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

При обертанні, висівна пластина або дозуючий диск захоплюють окремі насінини та подають його в отвір, через який воно проходить у систему подачі. Ця система спрямовує насіння в борозну, забезпечуючи його укладання на дно ложа.

Два основні типи систем доставки насіння в типовій просапній сівалці – це гравітаційний насіннепровід (рис. 3а) та стрічкова конвеєрна система. У гравітаційній системі насіння вільно падає через трубку прямо на ґрунт. Проте,

якщо воно відскакує від стінок трубки перед тим, як досягти землі, це може призвести до нерівномірного розташування насіння, особливо під час посіву на нерівній місцевості або на високій швидкості. Іншим видом системи подачі насіння є стрічковий конвеєр (рис. 3b). Ця система була створена як удосконалення гравітаційної подачі, використовуючи щітки або лопаті, приєднані до конвеєра, для переміщення насіння після його виходу з дозувальної системи. Конвеєр рівномірно транспортує насіння та вивантажує його в борозну на протилежному кінці.

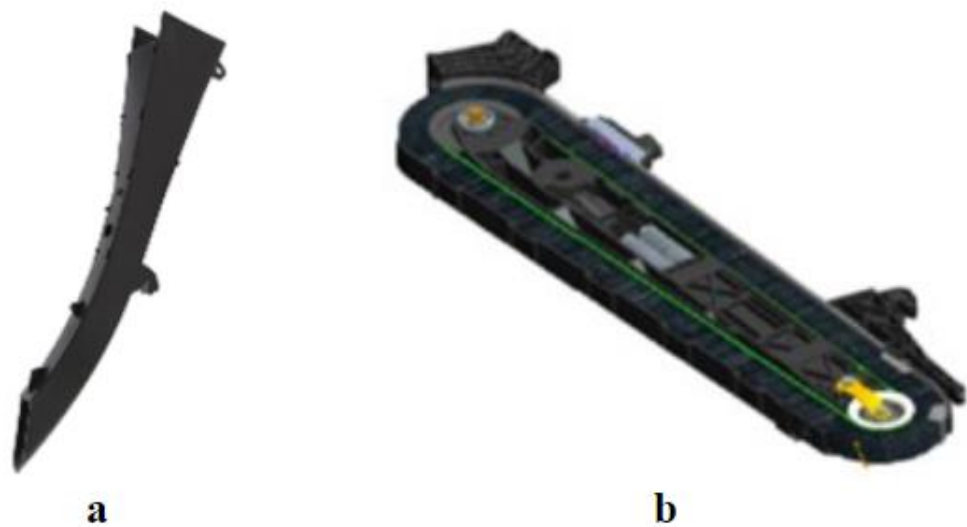


Рис. 3 - Насіннепроводи гравітаційного типу (а) та насінневого стрічкового конвеєра (б)

Насіння слід розміщувати на такій глибині, де є достатня вологість для забезпечення належного проростання. Сошники створюють V-подібні борозни, а гумове опорне колесо контролює глибину висіву (рис. 4). Сівалки мають механізм, який дозволяє змінювати глибину посіву насіння відповідно до реальних умов поля під час посадки. Іноді використовується борозеночисник для видалення рослинних залишків, бур'янів та інших елементів з поверхні ґрунту перед дисками для легшого відкриття ґрунту.

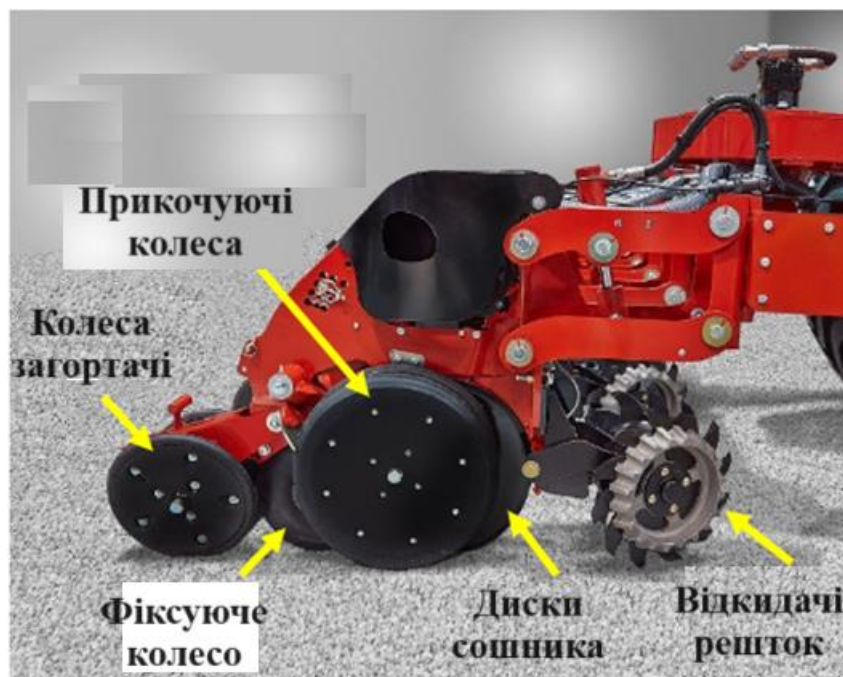


Рис. 4 - Основні елементи просапної сівалки

Для успішного проростання насіння та появи сходів важливо, щоб насіння добре контактувало з ґрунтом. Після розміщення насіння в борозні застосовується пристрій, який закриває насіння, щоб забезпечити належний контакт з ґрунтом, покриваючи його землею. Борознозакривач або колеса для закриття борозни (див. рис. 4) слугують для закриття борозни та ущільнення ґрунту, усуваючи повітряні кишені навколо насіння, що забезпечує оптимальні умови для його проростання. Додатково, деякі сівалки застосовують прикочувальні колеса, які запобігають підстрибуванню насіння в борозні після його виходу з насіннепроводу, акуратно притискаючи кожен насінину до дна ложа.

Система контролю притискної сили висівних секцій

Посівні машини для просапних культур повинні забезпечувати розміщення насіння на однаковій глибині та з рівномірною відстанню в рядках. Для досягнення цього диски використовують вагу агромашини, щоб проникнути в ґрунт і створити борозну потрібної глибини. Опорні колеса обмежують глибину борозни, перешкоджаючи надмірному заглибленню дисків. Зайва вага, яка діє на колесо, коли воно контактує з поверхнею ґрунту, називається навантаженням колеса. Унаслідок різного опору ґрунту на колесах

під час руху по полю, вага висівного агрегату може виявитися недостатньою, що може спричинити втрату контакту опорних коліс із землею та, як наслідок, до зменшення глибини посіву..

Посівні машини для просапних культур оснащуються механізмом, що забезпечує додаткове навантаження на кожен секцію. Це дозволяє отримувати борозну з необхідною глибиною посіву та підтримувати цю глибину в усіх частинах поля, враховуючи різне ущільнення ґрунту, його тип і наявність решток. Додаткове навантаження, разом з вагою висівного агрегату, утворює притискну силу. Цю силу можна регулювати за допомогою трьох систем: механічного, пневматичного та гідравлічного типів.

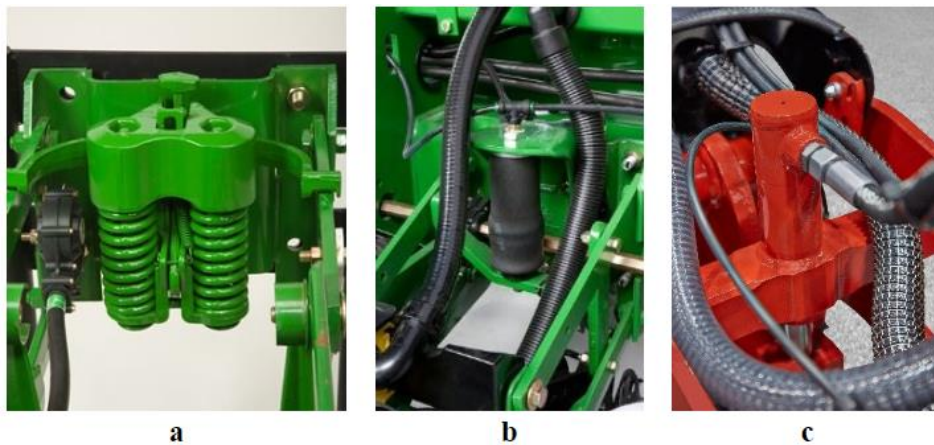


Рис. 5 - Системи притискної сили сівалки (а) механічні (б) пневматичні та (в) гідравлічні

Механічна система

Така система (див. рис. 4 а) застосовує пружини для створення додаткового навантаження, необхідного для ефективної роботи основних елементів сівалки. Регулювання навантаження здійснюється через ручний вибір виїмки на висівній секції за допомогою важеля, при цьому кожна така виїмка відповідає певному значенню додаткової притискної сили з дуже малими кроками. Проте притискна сила висівної секції може суттєво варіюватися ($F = kS$, з-н Гука) завдяки цій системі, оскільки її пружини швидко реагують (стискаючись або подовжуючись) на зміни рельєфу під час посіву, що призводить до значних коливань навантаження, яке діє на висівні органи.

Пневматична система

В системах такого типу (рис. 4 б) застосовуються гумові подушки безпеки, які заповнюються повітрям за допомогою компресора, щоб підтримувати якомога більш рівномірну притискну силу під час руху посівної машини по полю. Ця система є зручнішою, оскільки оператор має можливість регулювати притискну силу прямо з кабіни. Окрім цього, система пневмоподушок здатна забезпечити більш стабільну притискну силу, через те, що ви можете налаштувати її на будь-який рівень у межах діапазону додаткової притискної сили висівної секції (від 0 до 440), на відміну від систем створення притискної сили механічного типу. Датчики опорного колеса надають зворотний зв'язок щодо притискного зусилля висівної секції, який можна використати для регулювання додаткової сили під час висіву. Однак така система повільніше реагує на швидкі зміни умов роботи, їй потрібен певний час, щоб досягти необхідного тиску на пневмоподушках.

Гідравлічна система

Система гідравлічного типу здатна забезпечити швидший час реакції на необхідність зміни притискної сили висівної секції порівняно з пневматичною системою. Такі системи (рис. 4 с) оснащені гідравлічними циліндрами для створення додаткової притискної сили до висівних секцій, за потреби. Перед посівом обирається навантаження на опорне колесо, яке передбачається достатнім для посівної машини, щоб забезпечити бажану глибину висіву насіння. Система буде підтримувати це значення зусилля для забезпечення потрібного проникнення в ґрунт і стабільної глибини посіву без переущільнення ґрунту. Сенсор опорного колеса забезпечуватиме зворотний зв'язок про навантаження на колесо, що допоможе визначити, чи потрібно коригувати притискну силу. Така система надає переваги, особливо на ділянках із різними умовами (вид обробітку ґрунту, структура ґрунту, рельєф місцевості, наявні рештки тощо), де потрібне швидке реагування на змінні польові умови.

Автоматичне керування висівними секціями

Сівалки для просапних культур можуть бути оснащені технологією автоматичного керування секціями, що підвищує ефективність посіву шляхом зниження виробничих витрат і збільшення продуктивності. Завдяки системі глобального позиціонування та картам покриття, ця технологія дозволяє уникати пересіву, контролюючи роботу окремих висівних агрегатів або рядкових блоків у процесі посіву. Зазвичай спочатку засівають межі поля, а потім основну площу.

Під час посіву оператори вручну вмюють та вимикють висівні секції на всю ширину сівалки, наближаючись до вже засіяних або запланованих для посіву ділянок. У певний момент один край сівалки може заходити внахлест із сусідніми рядами. Якщо висівні блоки вимкнуті занадто рано, можуть залишитися незасіяні ділянки, а вимикання на повній ширині сівалки лише після досягнення останнього ряду може призвести до подвійного засівання певних площ (рис. 5 а).

Зменшити площі перекриття буде складно, особливо якщо прагнути уникнути пропусків під час посіву. Крім того, посів на полях складної форми, розвороти на смузі та обхід перешкод також можуть спричинити збільшення перекриттів.

Система автоматичного керування секціями дозволяє автоматично вимикати окремі секції або ряди сівалки на вже засіяних ділянках поля та вмикати їх у потрібний момент для засівання нових ділянок (рис. 4b). Це рішення значно знижує витрати, пов'язані з перекриттям насіння, і підвищує врожайність, мінімізуючи випадки перекриття чи пропуску площ.

Посів є ключовим етапом у рослинництві, який значно впливає на майбутній урожай. Для забезпечення точного та рівномірного висіву необхідно використовувати сучасні технології, здатні підтримувати необхідні параметри навіть за умов інтенсивної роботи в полі. У 2018 році світовий ринок точного землеробства оцінювався у 5,8 мільярда доларів США, а до 2024 року його обсяг зросте до 11,7 мільярда доларів США. Технології точного землеробства охоплюють навігаційні системи для різноманітної

сільськогосподарської техніки на основі системи глобального позиціонування (GPS), геоприв'язаних карт ґрунтів і врожайності, а також систем змінних норм внесення. Вони спрямовані на підвищення ефективності виробництва харчових продуктів, зменшення виробничих витрат та оптимізацію використання ресурсів, запобігаючи їх надмірному застосуванню.

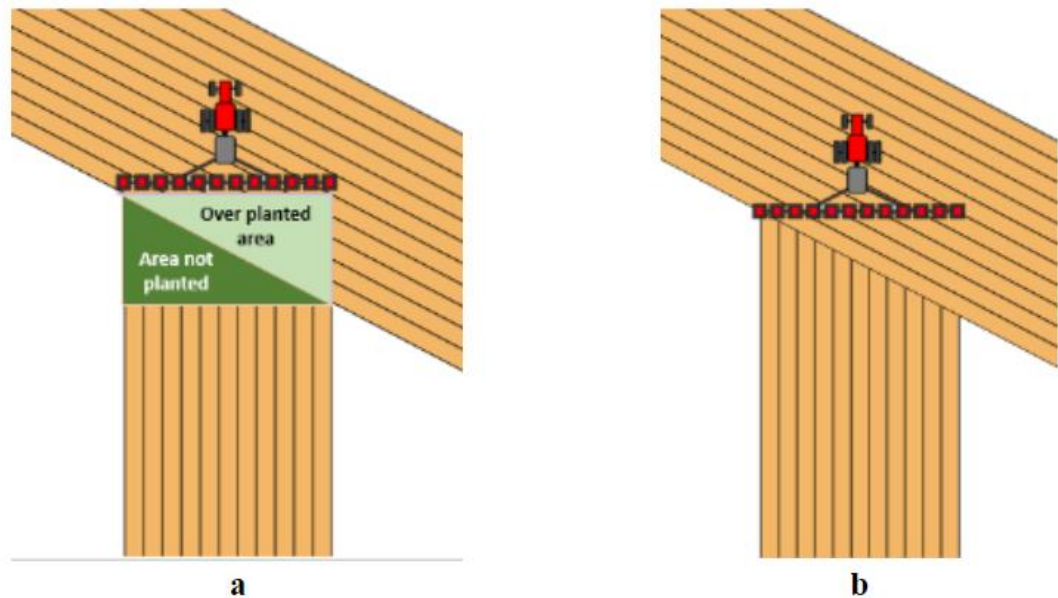


Рис. 6 - Ручне керування (а). Автоматичне керування окремими секціями (b)



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

Застосування посівних машин точного висіву надає операторам зворотний зв'язок у режимі реального часу та дозволяє коригувати налаштування безпосередньо під час роботи. Це дає змогу враховувати просторову варіативність поля під час посіву. Завдяки цьому оператори можуть реалізувати стратегії, що забезпечують точне розміщення насіння в оптимальних місцях і в найкращий час. Дотримання рекомендованих строків посіву важливе для уникнення втрат врожаю, спричинених затримками.

Затримка посіву може знизити потенційну врожайність через скорочення вегетаційного періоду, що сприяє зростанню ризику появи комах і хвороб, а також впливу несприятливих погодних умов під час запилення. Оптимальні строки посіву варіюються від середини квітня на півдні країни до середини травня на півночі.

Через непередбачуваність погоди можливі ситуації, коли надмірна вологість, спричинена переважно дощами, може обмежити кількість днів, придатних для посіву. Це може змусити виробників проводити посівні роботи поза оптимальними термінами. Дослідження свідчать, що запізнення з посівом може негативно вплинути на врожайність.

Вчасне завершення сівби може вимагати від виробників впровадження спеціальних управлінських стратегій через збільшення середнього розміру полів. Це може включати підвищення швидкості сівби, що дозволить обробити більше гектарів на день у межах доступних днів із оптимальними умовами для сівби. Проте, підвищена швидкість сівби може викликати нерівномірну глибину та розміщення насіння, особливо враховуючи різноманітність текстури ґрунту, вологості, залишків рослин і рельєфу поля.

Кілька досліджень довели, що рівномірне розміщення рослин та проростання залежать від швидкості, що, в свою чергу, впливає на потенційну урожайність агрокультури.

Неправильний контроль глибини сівалки на вищих швидкостях посіву може призвести до затримки сходів і варіативності інтервалів. Дослідження свідчать про зниження врожайності з кожним кроком збільшення швидкості

посіву в межах від 6 км/год до 12,0 км/год, що можна пояснити нерівномірністю відстаней. Досліди показують, що точність розміщення насіння знижується зі збільшенням швидкості, і вважається, що варіативність у відстанях може бути викликана підстрибуванням насіння в борозні через вібрації сівалки. Аналогічно, нерівномірна глибина посіву негативно впливає на схід культур, що, в свою чергу, знижує врожайність культури. Сучасні машини точного висіву або звисайні просапні сівалки можуть підтримувати задану глибину посіву та відстань між насінням у різних умовах поля, контролюючи притискне зусилля. Рівень додаткового навантаження варіюється на кожному полі і визначається під час фактичних посівних операцій та відповідно до польових умов.

1.2 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур

Для успішної діяльності в сучасному агровиробництві необхідно забезпечити високу продуктивність сільськогосподарських машин, універсальне поєднання різних робочих елементів в одному агрегаті, а також швидке та безпечне переміщення по автошляхах загального користування.

Узагальнюючи, можна відзначити, що поряд із традиційними вимогами до показників надійності та ефективності агротехніки, на перший план виходять її конкурентоспроможність, комбінація виконуваних функцій, універсальність і здатність адаптуватися до різних агрокліматичних і виробничих умов, а також оптимальне співвідношення ціни та якості, разом із організацією технічного обслуговування. В сучасних умовах виробники повинні проявляти більшу гнучкість і швидкість у задоволенні різноманіття потреб споживачів.

Подальший розвиток посівної техніки триває в таких напрямках: поліпшення рівномірності подачі насіння та добрив до сошників; забезпечення потрібної рівномірності їх висіву на встановлену глибину; збільшення обсягів ємностей для насіння і мінеральних добрив; а також скорочення часу,

необхідного для переведення великогабаритних агромашин у транспортне положення для переїздів на великі відстані і приведення їх назад у робоче.

Незалежно від різновиду посівних машин, загальною тенденцією їх вдосконалення є підвищення якості виконання технологічного процесу всіма вузлами машини. Для досягнення цієї мети важливо ретельно обирати тип та параметри робочих органів, враховуючи особливості кожної конкретної ґрунтово-кліматичної зони.

Згідно з опитуванням керівників агропідприємств, серед основних характеристик сучасних сівалок на першому місці знаходиться якість висіву, на другому – показники надійності машини, а на третьому - співвідношення ціна-якість. Чотири ключові фактори, що впливають на врожайність під час сівби, включають норму висіву, інтервал між рослинами в рядку, відсоток двійників і пропусків, а також схожість.

Дивно, але норма висіву має найменше значення. Більш суттєвим є фактор відстані між рослинами, тобто точне розміщення насіння, який більше впливає на врожайність. Ще одним важливим аспектом є сінгуляція- частка двійників/трійників і пропусків. Виробники та продавці сівалок приділяють велику увагу заходам, спрямованим на зменшення множинності і пропусків, хоча це не є найголовнішим. Всі ці заходи лише забезпечують рівномірний розподіл насіння в полі, тоді як найбільший вплив на урожайність має дружність сходів.

Цей показник враховує не лише відсоток схожості насіння, але й рівномірність та синхронність сходів. Сходи вважаються рівномірними та дружніми, якщо вони з'являються протягом перших 36-48 годин після посіву. Якщо якась рослина не з'являється протягом перших двох діб, а більшість сусідніх вже зійшла, то ті, що з'явилися раніше, можуть заглушити її. Це призводить до недобору урожаю.

Тепер залишилося лише з'ясувати причини нерівномірного сходження рослин. Дослідження та аналіз даних систем точного землеробства пролили світло на цю проблему. Наприклад, було встановлено, що на глибині, на якій

загортали насіння — визначеній у літературі як оптимальна для відповідної агрокультури — значення вологості ґрунту коливалася в межах від 18 до 62%. Для успішного сходження насінин вологість на цій глибині повинна бути не менше 28%

Дослідження виявили значний вплив глибини загортання насіння на їх проростання. Наприклад, під час одного з експериментів було встановлено, що насіння кукурудзи, посіяне на глибину 7,5 см, де спостерігалось найбільше вологи, проросло майже повністю за певний час. У той же період насіння, закладене на глибину 5 см, ледь почало проростати через нестачу вологи. А насіння, що було посіяне на глибину 2,6 см, залишилося без змін, очікуючи на дощ. Таким чином, постійне завдання агронома полягає у пошуку оптимального балансу. Посів на великій глибині забезпечує більше вологи, але знижує енергію проростання. Натомість, посів на дрібну глибину покращує енергію проростання, але не вистачає вологи.

В одному з експериментів, проведених в минулі роки в Україні на полях холдингу «Кернел», було з'ясовано, що правильний вибір навантаження на секцію сівалки має значно більший вплив на кінцевий врожай, ніж мале число двійників і пропусків. Наприклад, за оптимального значення притискного зусилля на посівній секції та інших рівних налаштувань і умов врожай кукурудзи становила 147,4 ц/га. Однак при максимальному додатковому притискному зусиллі, коли на машині максимально "накрутили" пружини, врожайність понизилася до 137,5 ц/га. Якщо ж притискне навантаження зменшити до 75 кг, врожайність опускалась до 130 ц/га. Таким чином, низька величина притискного зусилля часто не заважає підйому сошника. Водночас багато українських аграріїв використовують легкі сівалки для посіву просапних культур, де притискне зусилля не перевищує 75 кг.

Кожен агроном усвідомлює важливість коригування глибини посіву або притискного зусилля відповідно до ґрунтових умов. Однак на практиці не всі сільгоспвиробники готові перенастроювати притискне зусилля при переході

на поле з іншими умовами, оскільки не бажають витратити кілька годин з 20 годин роботи сівалки на зміну навесні у сезон.

Останніми роками розвиток технологій точного землеробства дозволив регулювати притискне зусилля прямо з кабіни, при цьому секційно, так само, як раніше точне землеробство дало змогу налаштувати норму висіву. Однак такі технології мають свою вартість. Наприклад, сучасна імпортна пневматична сівалка, обладнана найсучаснішими засобами для точного землеробства, може коштувати українським аграріям від 65 до 100 тисяч доларів США.

1.3 Аналіз досліджень систем керування притискним зусиллям сівалок

Рівномірне розподіл насіння, що охоплює як рівномірність між рослинами, так і глибину висіву, вимагає відповідної можливості контролю притискної сили в мінливих умовах поля, зокрема під час висіву на високій швидкості.

Завданнями посівних машин є забезпечення правильного укладання насіння в ґрунті, що сприяє створенню оптимальних ґрунтових умов для рівномірного сходження. Важливо правильно розмістити насіння, щоб забезпечити необхідну кількість вологи для проростання та уникнути впливу факторів що шкодять рослині. Контроль за укладанням насіння може бути ускладнений, при виконання операції на високих робочих швидкостях. Збільшення швидкості посівного агрегату може призвести до того, що насіння підстрибуватимуть в насіннепроводах, що в свою чергу викликає нерівномірне розміщення та різну глибину укладання. Дослідження підтверджують важливість сівби на оптимальній глибині, оскільки посів на недостатній або надмірній глибині може стати причиною зниження майбутнього врожаю. Глибина висіву є одним із ключових чинників, що впливають на час появи сходів та вегетативний розвиток агрокультури. Час,

необхідний для появи паростків, суттєво зростає, коли глибина висіву збільшується з 3,5 см до 6 см.

Аналогічним чином було вивчено, як глибина посіву кукурудзи впливає на появу сходів у тепличних умовах, з акцентом на відмінності в кількості сходів при зміні глибини. Дослідження, проведене з використанням точної сівалки, не виявило значних відмінностей у рівномірності посіву при різних глибинах. Однак максимальна швидкість появи сходів спостерігалася при глибині посіву 5 см. Крім того, посів, здійснюваний на високих швидкостях, викликає вібрацію в рядках, що може призвести до зменшення опору коченню коліс через неналежне використання притискної сили. Визначення оптимальної притискної сили за змінних умов ґрунту та при зростанні швидкості може бути складним завданням, оскільки необхідно забезпечити достатнє навантаження для уникнення втрати контакту висівних агрегатів із землею, але не надто велике, щоб викликати ущільнення стінок ложа.

Притискною силою називають додаткову величину навантаження, що діє на висівний вузол сівалки, аби досягти необхідної глибини посіву. Це навантаження складається з ваги висівного агрегату та додаткового тиску, який забезпечується за допомогою механічних пружин, пневматики або гідравлічних систем для компенсації змін у вимогах до навантаження в залежності від умов ґрунту. Попередні дослідження показали, що надмірний тиск негативно впливає на глибину висіву та схожість насіння кукурудзи. Використання занадто великого навантаження під час сівби може спричинити надмірне ущільнення в зоні висіву, тоді як недостатня величина навантаження може призвести до незабезпечення запланованої глибини посіву. Обидві ці ситуації негативно впливають на розвиток кореневої системи та призводять до нерівномірного проростання рослин.

Було проведено дослідження, що аналізували розміщення насіння з використанням різних типів дискових сошників та значень притискних зусиль. [13]. Отримані результати дослідів показали, що недостатня глибина посіву спостерігалася при найменшій притискній силі, що негативно позначилося на

проростанні насінин. Подібні результати отримали [5], провівши статичне випробування посівної машини, яке продемонструвало істотний вплив на час появи сходів і фактичну глибину висіву внаслідок застосування статичного навантаження на опорні колеса секції. Отже, двома основними параметрами продуктивності сівалки, які можуть впливати на проростання насінин, є навантаження на опорні колеса секцій і швидкість роботи агрегату. Ці параметри визначають важливі показники операції посіву, такі як цільова щільність насіння, дружність сходження та отримана глибина посіву.

Один окремий фактор не визначає відмінності у фінальному формуванні насаджень на полях; часто це результат комбінації факторів під час посіву. Кілька досліджень [11] аналізували вплив робочої швидкості агрегату на остаточне формування насаджень. Однак жодних даних, які б дозволяли оцінити вплив різних режимів притискної сили при різних робочих швидкостях, не було опубліковано.

Попередні дослідження виявили варіації навантаження на опорні колеса висівних секцій посівних машин, які мають фіксовані налаштування додаткової притискної сили під час польової роботи. Це свідчить про необхідність подальших досліджень, які б дозволили кількісно оцінити вплив різних швидкостей операції висіву та налаштувань притискної сили на розміщення насінин по площі поля. Отже, метою даного дослідження було: 1) проаналізувати, як робоча швидкість та налаштування притискної сили впливають на інтервал між рослинами та глибину закладання; 2) вивчити взаємозв'язок між швидкістю руху і вібрацією висівного апарату при зміні навантаження на опорні колеса секцій та його вплив показники висіву.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Налаштування обладнання та приладів

Для дослідження процесу посіву застовувалась сівалка *Horsch Maestro 30 SW* (Horsch, Німеччина) з системою регулювання норми та секції, що агрегувалася з трактором *John Deere 8250R*. дванадцять секцій сівалки розташовувались з кроком 70 см між ними. Керування посівною машиною здійснювалося за допомогою бортового комп'ютера *2630 John Deere (GreenStar – 3, Deere and Company*, що підключався до електричного блоку керування (ECU або ЕБК) сівалки через роз'єм *ISOBUS*. Посівна машина була запрограмована для виконання автоматичного керування секціями через автоматичне вимкнення приводних електродвигунів (*BG 45x15 SI, Dunkermotoren*) окремих висівних секцій на основі даних про попередньо засіяну площу, що отримувались за допомогою GPS на сівалці. ЕБК використовував зафіксовану з GPS швидкість, для обчислення бажаних обертів електродвигуна для отримання необхідної кількості обертів диска. Датчик фактичного висіву (*Hu Rate Plus, Dickey – John Corp.*) було встановлено вздовж насіннєпроводів всіх висівних секцій, щоб забезпечити зворотний зв'язок про кількість висіяного насіння, двійників і пропусків, які відображаються на моніторі комп'ютера. Кожна висівна секція була оснащена на заводі тензодатчиком або іншими датчиками (*6784, Horsch Maschinen*), розробленими для вимірювання в межах від 0 до 1000 кгс з аналоговим лінійним виходом в межах від 3 до 20 мА.

Сенсори навантаження попередньо калібрувались для встановлення кореляції значень між аналоговим виходом датчика в мА та діапазоном вимірювання датчика у кгс. Калібрування було здійснено за допомогою сенсора вимірювання відомих ваг, а побудована регресійна крива використовувалась для обчислення навантаження на колесо (НК) через перетворення сигналу від датчика навантаження з мА в кгс.

Висівні секції були згруповані в «керуючі секції або секції керування» (рис. 8), де на кожен секцію було встановлено датчик для вимірювання тиску масла в гідравлічній системі в режимі реального часу при посіві. Дані про тиск масла вказують на те, що гідравлічне обладнання створює постійний тиск для висівних секцій, таким чином зберігаючи сталу притискну силу під час висіву.

Керуюча секція 1 включала перші три висівні секції (ряди 1, 2, 3), секція керування 2 складалася з висівних секцій посередині панелі інструментів (ряди 6 і 7), керуюча секція 3 містила останні три секції (ряди 10, 11 та 12), а до керуючої секції 4 входили ряди вздовж слідів шин (рядки 4, 5, 8 і 9). Керуючі секції 1, 2 і 4 було оснащено перетворювачами з діапазоном вимірювань від 0 до 25 мПа з сигналом на виході в межах 4-20 мА (*HDA 844L – A – 0250 – 161, Hydac, Glendale Heights*). Керуюча секція 2 була обладнана перетворювачем з діапазонами вимірювання 0-52 мПа з вихідним сигналом в межах 0,5-4,5 В постійного струму (моделі *KM41, Ashcroft Inc., Stratford*). Чотири висівні секції (рядки 1, 6, 7 і 14) було обладнано акселерометрами (моделі *3741E1210G, PCB piezotronics*) для реєстрації вібрації секцій під час висіву. Потенціометр (моделі *424A11A090B, Elabou sensor Tech.*) було встановлено на одну секцію для вимірювання вертикальних переміщень панелі інструментів, щоб визначити її переведення в робоче положення. Його діапазон вимірювання від 0 до 90 градусів з межами вихідного сигналу від 3 до 23 мА. Обладнання для GPS із точністю до 2 см (*GR5, ТПС, Inc., США*) використовувалося для одночасного визначення місцеположення та швидкості руху під час посіву. Усі описані вище датчики (навантаження, тиску, акселерометри, потенціометри та GPS-блоки) було підключено до шасі моделі NI cRIO через модулі C-серії (*National Instruments, Ausin, TX*), а сигнали збирались з частотою дискретизації 10 Гц при допомозі спеціального програмного забезпечення LabVIEW через роботу з ноутбука (*Latitude 14 3470, Dell, Round Rock*).



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

2.2 Розмітка поля

Схема розміщення дослідних пробних ділянок наведена на рис. 9. Були обрані два рівні навантаження від діючої притискної сили, які створюють низьку та високу силу притиску. Консультації з виробниками техніки та співавторами дозволили обрати цільове навантаження на колесо (НК) величиною в 63 кг для реалізації низького значення притискної сили, що називається «активним низьким налаштуванням», і обрати НК в 100 кг для високого значення притискної сили, яка далі називається «активне високе налаштування».

Експериментальні польові випробування були проведені на шести ділянках (150 метрів довжиною). Експеримент включав два фактори обробки: встановлення притискної сили на двох рівнях: 63 кг та 100 кг (D1 та D2) і робочої швидкості агрегату з чотирма значеннями 7,2 км/год, 9,6 км/год, 12,0 км/год і 16,1 км/год (S1, S2, S3 і S4). Кожну дослідну ділянку поділяли на чотири менші ділянки (субділянки) однакових розмірів, де значення притискної сили рандомно призначали всій ділянці, а робочу швидкість рандомним чином призначали кожній субділянці. На кожен ділянку припадає 12 рядків і на погонних 14 м в одному з них була випадковим чином проводили

вимірювання відстані між рослинами та фактичної глибини посіву. Такий метод рекомендований для отримання адекватної вибірки, що буде представляти решту поля. Активного низького налаштування досягали шляхом створення гідравлічного тиску 118 Бар, а гідравлічний тиск в 146 Бар був застосований для режиму активного високого налаштування. Було застосовано норму посіву у 84000 насінин/га, якій відповідає цільовому інтервалу між рослинами в 17,8 см. Цільова глибина посіву була налаштована на 5,1 см, встановивленням вручну штифта регулювання глибини у відповідний отвір на секції. Дисперсійний аналіз виконали за допомогою процедури *GLIMMIX* в *SAS University Edition* (версії 2018 р., SAS Institute Inc, США). Порівняння середніх значень виконували з використанням ЛСД-тесту Фішера (найменш значущої різниці). Якщо не зазначено інше, ефекти приймалися статистично значущими при рівні ймовірності 0,05.



Поле А



Поле В

Рис. 9 - Аерофотознімки полів із позначенням розташування дослідних ділянок

2.3 Опис поля

Експеримент провели на полі площею 26,1 га, яке далі згадується як поле А, та на полі площею 43,1 га, що далі згадується як поле В. На полі А застосовувалась система нульового обробітку із покривними культурами (рис. 10а), в той час як, поле В було полем з смуговим обробітком (рис. 10b). Для обох полів вимірювали електропровідність ґрунту (ЕП) з використанням сенсорної платформи *Verismobile (MSP)* (*EC Surveyor 3150, Veris Tech.*,

Саліна, США). При зборі даних про ЕП застосунок *Veris EC Mapper* у *MSP* поділив поле на зони з низькою, середньою і високою електропровідністю. Кожна зона ЕП позначалась як цільова для відбору ґрунтових проб, з якої зразки ґрунту відбиратимуться після збору даних про ЕП.

З кожного поля було відбирали 9 зразків ґрунту (з трьох різних зон по три зразки) з глибини 30 см за допомогою пробовідбірника ґрунту моделі *Classic Soil Probe* з насадкою діаметром 1,9 см (тип L, *Oakfield Apparatus*). Взяті зразки ґрунту передавались для аналізу структури ґрунту в спеціальну лабораторію. Характеристики структури ґрунтів обох полів представлено в табл. 1.



а

б

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

Таблиця 1- Структура ґрунту для полів А і Б

Структура	Поле А	Поле В
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

2.4 Збір польових даних

Інтервал між рослинами

Відстань між рослинами в рядку (інтервал) вимірювали після появи повних сходів. Стандартну вимірювальну стрічку укладали вздовж смуги довжиною 14 м, потім записували значення фактичних інтервалів. Теоретична відстань між рослинами розраховувалась на основі запланованої популяції рослин та відстані між рядками посівної машини.

Виходячи з встановленої популяції рослин і відстані між рядками, розрахована теоретична відстань між рослинами склала 17,8 см. Оскільки показник стандартного відхилення сам по собі не говорить про однорідність у насадженні, були визначені кількості пропусків та двійників разом із точністю, щоб кількісно оцінити узгодженість інтервалу між рослинами в рядку відносно теоретичної відстані (St). Тобто, показники рівномірності інтервалу між рослинами, застосовані в цьому досліді, відповідали індексам, що встановлені Міжнародною організацією стандартизації, які теж застосовувалися в даному дослідженні. Це індекс пропусків, індекс кратності та точність. Індексом кратності (D) визначається кількість інтервалів в кожному ряду, які менші або дорівнюють $0,6 St$. Це обчислюється за формулою:

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

де nD — кількість заміряних 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 раза перевищують значення St . Цей індекс розраховували за формулою:

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

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

Індекс якості живлення (A) показує частку вимірних 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 замірних 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.

Глибина посіву

Вимірювання глибини посіву проводили шляхом підкопування насінин рослин, що вже зійшли, вручну і вимірюванням відстані насінин від поверхні ґрунту. Підкопування проводили шляхом зіскрібання шару пухкого ґрунту до насінини, а плоска рейка була розміщена на борозні за напрямком руху посівної машини. Стандартна 0,5-метрова лінійка використовувалась для вимірювання глибини висіву, розташуванням її перпендикулярно до плоскої рейки з нульовою позначкою поруч із насінинами. Покази записували з точністю до 1,0см.

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 притискної сили.

Поле	Налаштування притискної 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 показують, що на інтервал між рослинами не вплинуло величина притискної сили для обох полів у цьому досліді. Отримані результати з встановленим НК у 65 кг і 100 кг були подібними до результатів, які показали, що понижений тиск (15...80 кг) суттєво не вплинув на значення середнього інтервалу між рослинами. Попри несуттєву різницю, величина притискної сили D2 дала найбільшу варіабельність інтервалів між рослинами на обох полях.

Такі результати вказують на те, що обох значень притискної сили може виявитись недостатньо для мінімізації руху висівних секцій через наявність покривної культури і рослинних решток на полі, що збільшило кількість пропусків (індекс пропусків) та множинний індекс, що також негативно вплинуло на індекс якості живлення (сингуляцію) та індекс точності. Показник якості живлення характеризує, наскільки вимірний інтервал наближається до номінального, а вищі значення свідчать про кращу ефективність висіву.

З іншого боку, нижчий індекс точності є мірою змінливості інтервалів після «видалення» з розрахунку пропусків і двійників. Менші значення вказують на кращу ефективність посівної машини. Такі результати узгоджуються з припущеннями про те, що високий рівень решток на поверхні поля вплине на продуктивність висівних апаратів. Такий результат говорить про необхідність застосування вищих значень притискної сили для втиснення залишків в ґрунт, зменшуючи кількість випадків надмірного підстрибування висівних секцій. Застосування обох величин притискної сили при посіві в полі В призвело до нижчої мінливості інтервалів. Хоча на поверхні з невеликою кількістю пожнивних залишків і обробленому полі прогнозувались більш рівномірні відстані, наявність грудок ґрунту могли викликати підстрибування секцій, що впливало на послідовність розміщення насінин.

Таблиця 3 демонструє, що на середній інтервал між рослинами може впливати більш висока швидкість висіву, при роботі на полі без обробітку ґрунту. На обох полях інтервал між рослинами був найвищим при 16,1 км/год із зміною, що демонструвала тенденцію до зростання при збільшенні швидкості посіву. Такі результати вказують на те, що розміщення насінин стає незадовільним зі збільшенням швидкості агрегату. В результаті отримуємо нерівномірний інтервал між насінинами, що може бути спричинене неефективністю висівного апарату при вищій швидкості агрегату та вібрації висівного апарату, яка спричиняє підстрибування насінин вздовж насіннепроводу або при розміщенні насіння вздовж насінневого ложа.

Посів зі швидкістю руху агрегату до 12 км/год призвів до стабільного розташування рослин на обох дослідних полях, що призвело до показника PSV в межах оптимального значення та низької частоти пропусків і двійників. Однак при 16,1 км/год секційного навантаження може бути недостатньо для мінімізації вібрації висівних секцій, що збільшує середній інтервал між рослинами.

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

Такі результати говорять про те, що в описаних умовах дослідження вибраний рівень притискного зусилля для усіх налаштувань був достатнім для досягнення рівномірного інтервалу між рослинами при висіві зі швидкістю до 12 км/год. Проте посів в режимі No-Till і робоча швидкість руху більше 12 км/год передбачає більшу потребу в донавантаженні для досягнення бажаної рівномірності розподілу насінин.

Комбінації між швидкістю руху та встановленою притискною силою суттєво вплинули на глибину висіву в двох місцях на полі (рис. 12 і 13). Такий результат означає, що можна досягати глибшого висіву з вищим налаштуванням величини притискної сили (D2) та при вищій швидкості руху.

На полі без обробітку не виявили істотної різниці в глибині висіву між налаштуваннями притискного зусилля D1 і D2 при 7,2 і 9,6 км/год. Фактична глибина посіву мала тенденцію до зменшення при встановленні притискної сили D1, коли робоча швидкість руху збільшувалась із 12 до 16,1 км/год. При обох налаштуваннях притискної сили глибина висіву була нижче за цільову на швидкості руху 9,6 км/год. Це свідчить про те, що встановлене НК було

достатнім для дотримання глибини посіву для обраного в цьому дослідженні поля (Рис. 12).

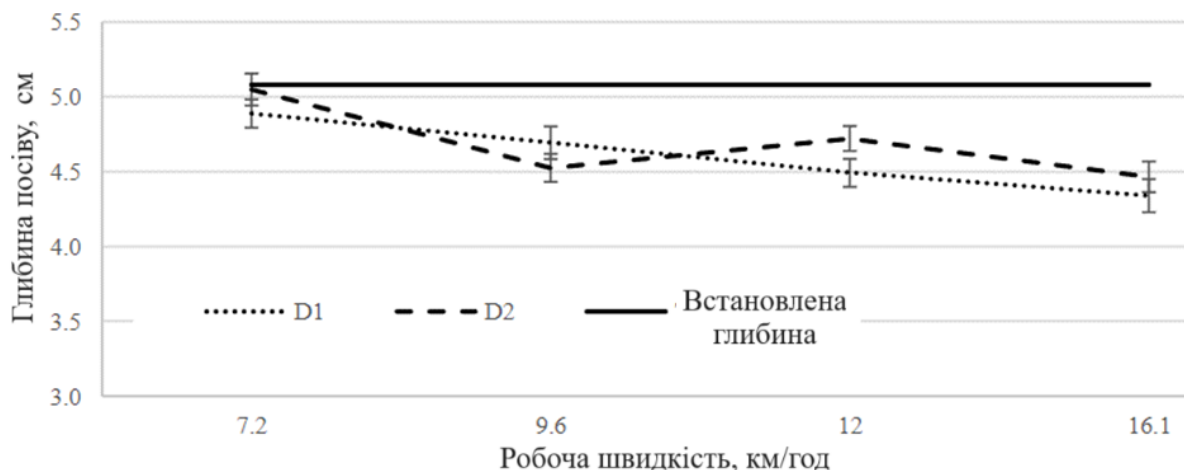


Рис. 12 - Зміна глибини посіву залежно від швидкості та величини притискної сили на полі з no-till. Лінії похибок показують 95% довірчий інтервал у середніх значень

Такий результат свідчить про те, що встановлене НК може бути не достатнім для утримування висівних секцій в контакті з ґрунтом через сошникові диски, які потребують додаткового навантаження для занурення в ґрунт на бажану глибину посіву, особливо при більшій швидкості руху по полю без обробітку. Крім того, присутність поверхневих рослинних решток могла спричинити те, що висівні секції формують нерівномірну глибину посіву через напресовані пожнивні рештки, які змушували опорне колесо «плавати», що призвело до меншої глибини висіву.

Присутність пожнивних залишків і покривної культури могли сприяти зменшенню глибині посіву, особливо при низькому значенню притискної сили, що може потребувати додаткового навантаження для стискання цих матеріалів, щоб дозволити сошниковому диску досягати бажаної глибини.

Описані результати вказують на зменшену глибину посіву, спричинену додатковим шаром, утвореним спресованими рослинними рештками, що свідчить про потребу більшого прижимного тиску для мінімізації коливань глибини висіву. На полі зі смуговим обробітком при значенні притискної сили D2 сівалка досягає глибини посіву вище заданої, за винятком швидкості руху

16,1 км/год (Рис. 3.6). Ці результати говорять про те, що обране налаштування притискної сили є доволі великим для цього дослідного поля, що і є причиною збільшення глибини посіву а також може сприяти ущільненню бічної стінки борозни.

Однак, глибина посіву для встановленої притискної сили D1 спостерігалась на цільовому рівні при 7,2 км/год, але ставала меншою при збільшенні швидкості руху. Така тенденція вказує на те, що обране налаштування з низькою притискною силою могло бути достатнім для цього поля при меншій швидкості агрегату, але може виникнути потреба в додатковому навантаженні при збільшенні швидкості, щоб забезпечити достатній тиск на сошниковий диск для належного прорізання ґрунту.

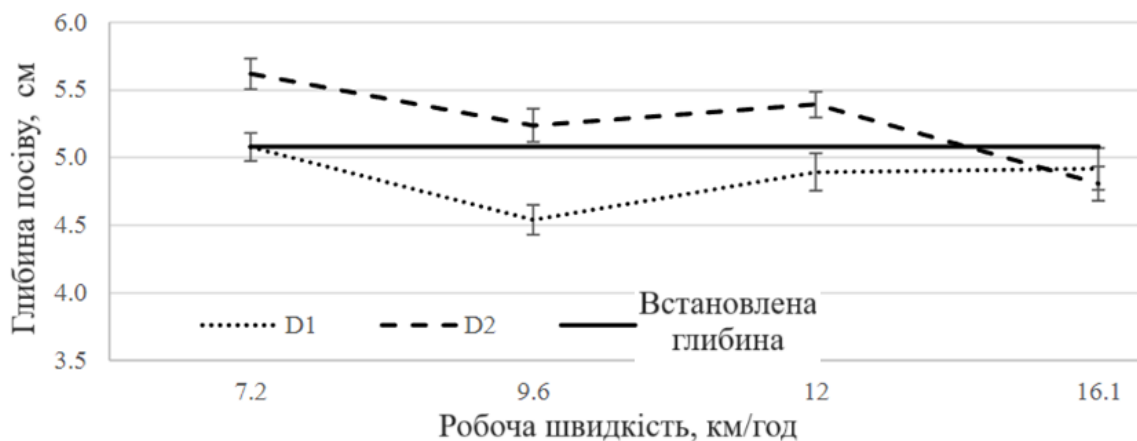


Рис. 13 - Залежність глибини посіву від швидкості руху та величини притискної сили на полі з обробітком. Смужки похибок для середніх значень позначають 95% довірчий інтервал.

На обох полях глибина посіву мала тенденцію до зменшення при зростанні швидкості руху, що вказує на зменшення опору коченню, який перешкоджає проникненню диска для формування борозни на бажаній глибині. Такі спостереження були подібними до результатів інших дослідників, опублікованих в джерелі [15], припускаючи, що надмірне руйнування ґрунту при збільшенні швидкості агрегату могло викликати викидання частини ґрунту за межу лінії борозни, що призводило до мілкішого висіву насіння. Таким чином було повідомлено, що невелика глибина посіву при вищій швидкості руху може бути пов'язана з неспроможністю системи

контролю глибини підтримувати задану глибину насінневого ложа, оскільки потреба в тяговому зусиллі зменшується при збільшенні робочої швидкості агрегату.

3.2 Вібрація висівного агрегату та навантаження на колеса

Вібрацію висівної секції вимірювали за допомогою акселерометра, який вказував величину переміщення вузлів, як відображено на рис. 14. Обидва налаштовані рівні притискної сили демонструють майже послідовне застосування НК для всіх швидкостей посіву (рис. 14 та 15).

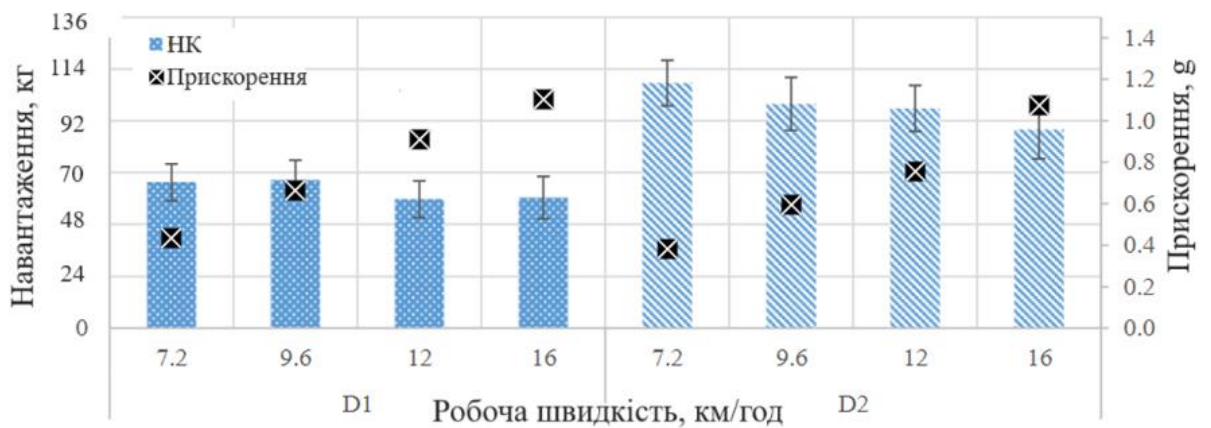


Рис. 14 - НК та прискорення секцій при зміні швидкості руху на полі з обробітком. Смужки для середніх значень помилок показують 95% довірчий інтервал

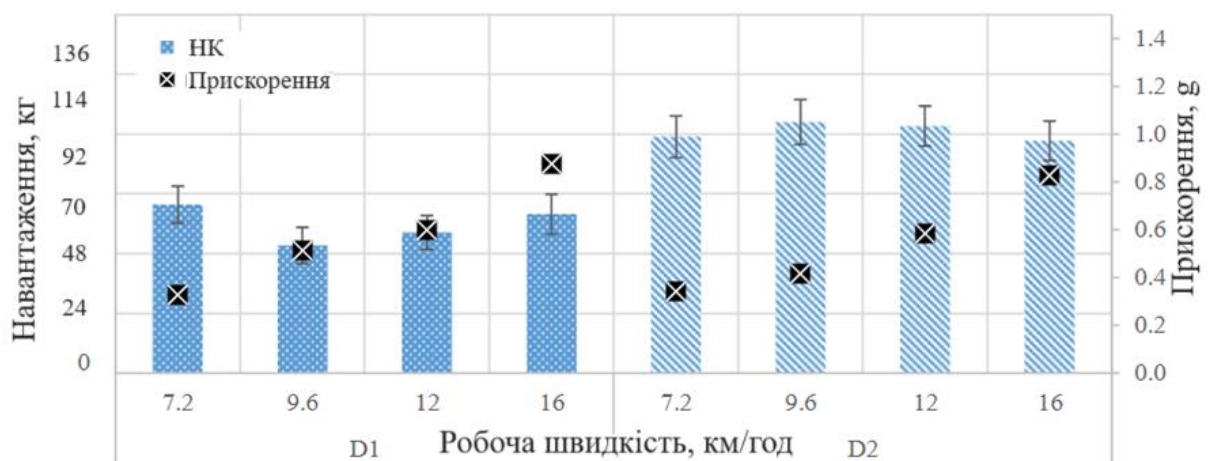


Рис. 15 - НК та прискорення секцій при зміні швидкості агрегату на полі без обробітку. Смужки для середніх значень помилок показують 95% довірчий інтервал

При тому як НК залишалось відносно однаковим для встановлених притискних сил $D1$ і $D2$ для обох полів, відскок висівної секції збільшувався зі зростанням швидкості руху. Ці результати підтверджують подібну роботу авторів [12], де повідомлено, що зростання швидкості посіву, ймовірно, збільшить вібрацію висівної секції, спричинену відскакуванням від поверхні ґрунту, що призведе до зростання мінливості (коефіцієнта варіації) середніх значень НК. Вібрація дозатора може впливати на рівномірність розміщення насіння, а зміна величини навантаження може вказувати на надмірне або недостатнє застосування додаткового НК, що може впливати на глибину посіву. Описані результати говорять про вибір вищих налаштувань величини притискної сили при зростанні швидкості посіву для впровадження оптимального значення НК, що сприятиме рівномірним розміщенню насіння та глибині посіву.

ВИСНОВКИ

Це дослідження дало наступні ключові результати.

По-перше, відсутність різниці в відстані між налаштуваннями D1 і D2 притискної сили, що відповідає цільовій НК 63 кг і 100 кг. Більша швидкість руху призвела до ширшого розташування рослин на полі без обробітку. В обох полях точність розподілу насіння, виміряна індексом точності, знижується при швидкості 9,6 км/год або більше, що свідчить про те, що розміщення насіння погіршується зі збільшенням швидкості руху. Такий результат може бути наслідком вищої швидкості посіву, що впливає на ефективність висівного блоку, або вібрації, що спричиняє підстрибування насіння вздовж насінневої трубки.

По-друге, налаштування швидкості руху та притискної сили вплинули на глибину посіву. Вибір вищого налаштування притискної сили (D2) при меншій швидкості ґрунту досяг бажаної глибини посіву, але постійно стає мілкішим, оскільки швидкість ґрунту збільшується на полі без обробітку. З низьким вибором притискної сили (D1) глибина посіву була незмінно малою на всіх швидкостях руху. Такі результати вказують на те, що на полі без обробітку необхідна більша притискна сила, особливо при вищій швидкості посіву, що дозволить сошниковим дискам мати достатнє навантаження, щоб подолати опір ґрунту при проникненні в ґрунт і розрізанні пожнивних решток і покривних культур для досягнення бажаної глибини посіву.

Так само вибір більшої притискної сили запобігатиме можливій втраті контакту висівних агрегатів із землею, що могло призвести до меншої глибини посіву. З іншого боку, більша глибина посіву була досягнута при застосуванні високої притискної сили зі швидкістю ґрунту до 12 км/год. Низька притискна сила дозволила досягти цільової глибини посіву за меншої швидкості руху. Нарешті, обидва параметри для двох польових умов показали збільшення відскоку висівного агрегату зі збільшенням швидкості посіву. Такі умови

можуть збільшити вібрацію на пристрої дозування насіння, що може поставити під загрозу здатність пристрою ефективно розділяти насіння.

Результати показують, що налаштування однієї притискної сили може бути невідповідним для різних полів, враховуючи, що умови можуть відрізнятися щодо властивостей ґрунту, кількості решток і покривних культур, що може призвести до достатнього навантаження для одного поля та неадекватного застосування навантаження для іншого поля. Таким чином, правильний вибір налаштування притискної сили для конкретних умов поля необхідний для досягнення рівномірного розміщення насіння, особливо при вищій швидкості руху. Вплив спостережуваної мінливості глибини посіву та відстані між рослинами на врожай буде цікавим аспектом для майбутніх досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Схожість насіння як один із важливих показників [Електронний ресурс] // [syngenta.ua](https://www.syngenta.ua). – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.syngenta.ua/news/novini-kompaniyi/shozhist-nasinnya-yak-odin-iz-vazhlyvih-pokaznikiv>.
2. Чому необхідно перевіряти схожість насіння перед посівом [Електронний ресурс] // Головне управління Держпродспоживслужби в Черкаській області. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/hromadianam/upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/novynu-upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/1965-chomu-neobkhidno-pereviriaty-skhozhist-nasinnia-pered-posivom>.
3. Полторецький С. П. Оцінка залежності врожайності і показників якості насіння проса залежно від строку та способу сівби / С. П. Полторецький, Н. М. Полторецька. // ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії. – 2019. – №4. – С. 29–31.
4. Радіонов Д. Якість висіву соняшнику 94%, або Tempo F — сівалка, яку потрібно розуміти [Електронний ресурс] / Д. Радіонов // Агробізнес сьогодні. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/11904-yakist-vysivu-sonyashnyku-94protsent-abo-tempo-f-sivalka-iaku-potribno-rozumity.html>.
5. Котигора О. Вплив строків та норм висіву на урожайність соняшника [Електронний ресурс] / О. Котигора // СуперАгроном. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://superagronom.com/articles/484-oleksandr-kotigora-vpliv-strokov-ta-norm-visivu-na-urojaynist-sonyashnika>.
6. Сіяти соняшник зі змінною нормою чи ні? Результати дослідів на 50 полях [Електронний ресурс] // Агроном. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agronom.com.ua/siyaty-sonyashnyk-zi-zminnoyu-normoyu-chy-ni-rezultaty-doslidu-na-50-polyah/>.

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

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

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

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

11. Легкодух І. Автоматизовані системи контролю якості сівби для просапних сівалок [Електронний ресурс] / І. Легкодух, Н. Легкодух // Агросеа. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://agrosea.com.ua/UKRNIPVT_POGORILOGO/.

12. Процеси, машини таобладнання АПВ [Текст] : навч. посіб. / М. О. Свірень, В. П. Смірнов, І. М. Осипов та ін. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2018. - 296 с.

13. Як оцінити якість посіву? Plant Counting: Pogostick та дрони [Електронний ресурс] // aggeek. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://aggeek.net/ru-blog/yak-otsiniti-yakist-posivu-plant-counting-pogostick-ta-droni>.

14. Правильний посів: основні фактори, що впливають на врожайність під час сівби польових культур. [Електронний ресурс] // AgroDay. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://agroday.com.ua/2019/05/14/pravylnyj-posiv-osnovni-factory-shho-vplyvayut-na-vrozhajnist-pid-chas-sivby-polovyh-kultur/>.

15. Морозов І. Фактори ефективності сівалок [Електронний ресурс] / І. Морозов, М. Макаренко // Агробізнес Сьогодні. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1138-factory-efektyvnosti-sivalok.html>.

16. Васильченко В. Фактори, які визначають якість сівби [Електронний ресурс] / В. Васильченко, В. Опалко // Агроном. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agronom.com.ua/factory-yaki-vyznachayut-yakist-sivby/>.

17. Спосіб оцінки точності висіву [Електронний ресурс] / О.Банний, А. Новицький, С. Карабиньощ, Ю. Новицький // Пропозиція, № 5. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://propozitsiya.com/ua/sposib-ocinky-tochnosti-vysivu>.

18. Shannon D., Clay E., Kitchen N. (2018). Precision Agriculture Basics. American Society of Agronomy, Incorporated, 230p.

19. Jupp L. (2018). Precision Farming From Above. Writing Matters Publishing, 113 p.

20. Zubko V., Sirenko V., Kuzina T., Onychko V., Sokolik S., Roubik H., Koszelg M., Shchurh T. (2022) Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. Agricultural Engineering, Vol. 26 , No 1 , pp. 25-37 DOI: 10.2478/agriceng-2022-0003.

21. Delta Force [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.precisionplanting.com/products/product/deltaforce>.

22. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. Мельника В. І. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с.

23. Павлюк І. Вимоги охорони праці при проведенні посівних робіт [Електронний ресурс] / І. Павлюк // Охорона праці і пожежна безпека. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://oppb.com.ua/content/vymogy-ohorony-praci-pry-provedenni-posivnyh-robit>.

24. Безпека працівника під час весняно-польових робіт першочергове завдання роботодавця [Електронний ресурс] // Управління держпраці у

хмельницькій області. – 2020. – Режим доступу до ресурсу:
<http://km.dsp.gov.ua/news/572-bezpeka-pracvnika-pd-chas-vesnyano-polovih-robot-pershochergove-zavdannya-robotodavcya.html>.

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

Додатки