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 притискного зусилля висівних секцій посівної машини на показники якості посіву сої»

Виконав: _____ Цапенко О.М.
(підпис) (Прізвище, ініціали)

Група: СТЗ 2301-2м ВН

(Науковий) керівник: _____ Лебедєв А.Т.
(підпис) (Прізвище, ініціали)

Суми – 2024

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота представлена на *40* сторінках машинописного тексту пояснювальної записки, що містить *2* таблиці, *11* рисунків, додатків *2, 25* літературних джерел.

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

Це дослідження мало на меті оцінити реакцію висівних секцій із застосуванням автоматичної системи притискної сили під час операцій посіву. Сівбу проводили на полях без обробітку та смугового обробітку за допомогою 12-рядної сівалки, оснащеної гідравлічною притискною системою. Прискорення висівного агрегату оцінювали в просторовому масштабі при постійній швидкості руху 12 км/год і на тестових смугах при швидкості руху 7,2, 9,6, 12 і 16,1 км/год. Результати показали, що прискорення висівного агрегату на крилових, колійних і неколійних ділянках збільшується зі зростанням швидкості. Найвище прискорення спостерігалося на крилових секціях як на полях без обробітку, так і на полях зі смуговим обробітком. Грунт зі смуговим обробітком продемонстрував нижче прискорення висівних агрегатів на 18% порівняно з ґрунтом без обробки.

У просторовому масштабі система активної притискної сили змогла підтримувати навантаження колеса в цільовому діапазоні лише протягом 39% загального часу посіву на обох полях. Випробування показали, що середнє навантаження на колесо у режимі реального часу зменшується зі збільшенням швидкості руху на полях. Навантаження на колесо залишалося в межах цільового діапазону на кожній секції для обох полів зі збільшенням швидкості руху з 9,6 до 12 км/год

ЗМІСТ

Вступ……..…….……...6
1 Стан питання і задачі дослідженя……7
1.1 Аналіз досліджень технологій варіабельного посіву ……..7
1.2 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур……11
1.3 Аналіз досліджень реакції висівних секцій на роботу системи керування притискною силою……14
2 Методика досліджень……..23
2.1 Конфігурація сівалки та система збору даних……23
2.2 Аналіз даних…….……..25
3 Результати досліджень …….……..27
3.1 Швидкість посіву……27
3.2 Середнє прискорення секції в просторовому масштабі……..27
3.3 Просторовий масштаб у режимі реального часу навантаження колеса (НК)……..31
Висновки……...……..36
Список використаних джерел…….……..37

ВСТУП

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 пневматичним 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 висіваючою системи має ряд переваг - зниження відсотка пошкодження (дроблення) насіння, компенсування швидкості руху трактора і швидкості переміщення дозованого матеріалу по насіннєпроводам 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 розкрите недостатньо повно.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз досліджень технологій варіабельного посіву

Сучасна технологія посіву має можливість підвищити врожайність сільськогосподарських культур і покращити ефективність поля за рахунок точного дозування та розміщення насіння сільськогосподарських культур. Продуктивність сівалки залежить від визначення та використання оптимальних налаштувань для різних змінних параметрів посіву, таких як глибина посіву, тиск при притисканні та пристрій дозування насіння. Еволюція «Великих даних» у сільському господарстві сьогодні зосереджує увагу на потребі в якісних даних про посів та картографування врожайності.

Сьогодні агровиробникам необхідно максимізувати врожайність сільськогосподарських культур, щоб забезпечити зростаюче населення світу, одночасно розумно використовуючи ресурси для підтримки прибутковості. Витрати на сільськогосподарські ресурси давно почали зростати, а також виникла потреба в екологічному догляді, що вимагає від фермерів розробки більш ефективних і стійких стратегій управління. У той же час доступність глобальної системи позиціонування (GPS) для цивільних поклала початок розвитку того, що зараз відомо як точне землеробство (PA). Вказівки на основі GPS разом із картуванням урожайності були початковими технологіями, які були впроваджені на фермах із технологією змінної норми (VRT), яка з’явилася незабаром після цього. З того часу ці технології стали стандартними опціями сільськогосподарської техніки.

Багато сівалок для просапних культур оснащені гідравлічними приводами та пов’язаним дисплеєм у кабіні, що дозволяє фермерам застосовувати змінну норму висіву (VRS), якщо вони зацікавлені. Завдяки власним можливостям VRS у поєднанні зі зростаючими витратами на посівний матеріал і властивою мінливістю в полі, серед фермерів є високий інтерес

скористатися VRT як засобом управління ризиками та підтримки прибутковості.

Кукурудза продовжує залишатися популярною посівною культурою. Посів є однією з найважливіших, якщо не найбільш критичних, польових операцій протягом вегетаційного періоду для кукурудзи. Правильна популяція посіву та розміщення насіння під час посіву є важливими, оскільки вони впливають на рівномірність сходів, розвиток культури та потенційну врожайність.

Помилки при посіві впливатимуть на весь період вегетації кукурудзи; в більшості випадків негативний вплив. Насіння потребує поглинання вологи з ґрунту для проростання, причому вологість ґрунту в насіннєвому ложі найбільше впливає на час проростання та появи перших сходів. Сприятливі умови посіву та оптимальна продуктивність необхідні для належного проростання культури та максимізації потенційної врожайності.

Сходи кукурудзи можна визначити як стадію, на якій насіння проростає і починає виходити із грунту. У всьому кукурудзяному поясі загальновідомо, що для максимізації потенціалу врожайності необхідна рівномірність сходів. Попередні дослідження також підкреслили важливість ранніх і рівномірних сходів для досягнення високої врожайності. Посів вимагає розкриття ґрунту, який зазвичай називають борозною, на бажану глибину з подальшим розміщенням насіння у відкритій борозні та закриттям цієї борозни за допомогою прикочувальних коліс, встановлених на сівалці.

Однак завершення цих етапів зазвичай недостатньо, щоб отримати добре рівномірне сходження насіння, особливо на південному сході, де на одному полі може існувати висока мінливість ґрунту (наприклад, відмінності в типі ґрунту, текстурі тощо). Численні фактори, включаючи неідеальні польові умови під час посіву, зміну погодних умов протягом вегетаційного періоду та недбалість у налагодженні та експлуатації сівалки, впливають на якість сходів

насіння, що ускладнює досягнення рівномірних сходів кукурудзи на південному сході.

Факторами, які найчастіше згадуються в літературі, що впливають на сходи врожаю, є властивості ґрунту (наприклад, структура та вміст вологи під час посіву), глибина борозни, в яку опускається насіння, притискна сила (визначається як величина тиску, що чиниться колесами сівалки на ґрунті.

Враховуючи високу мінливість ґрунтів, здатність постійно розміщувати насіння на бажаній глибині, зберігаючи при цьому цільову популяцію та відстань між насінням, може бути ускладненою. Сучасні дисплеї точного землеробства та можливості VRT забезпечили можливість точного моніторингу продуктивності сівалки в режимі реального часу. Однак важливим аспектом є якість даних про Посів та їх здатність точно відображати розміщення насіння в полі.

Головною темою точного землеробства в усьому світі, є «великі дані» та те, як вони розвиватимуться в сільському господарстві. Незважаючи на те, що пакети програмного забезпечення для управління даними та управління фермою існують із середини 1990-х років, все більше фермерів зацікавлені в архівуванні даних, створених фермою, на машинах і їх використанні для отримання інформації, яка може бути використана для підтримки управлінських рішень.

«Рішення, кероване даними» - це зазвичай термін для опису цього процесу. Розробка програми VRS для кукурудзи на рівні ферми вимагає кількох складових, включаючи правильну технологію PA, а також розуміння середовища вирощування на кожному полі. Це розуміння вимагає не лише інтуїції фермера, але й шарів просторових даних для створення зон управління, у яких кожна зона має унікальну норму висіву. Загальні просторові шари для розробки зон керування для посіву включають карту ґрунту, дані про висоту та карти врожайності.

У сільськогосподарській галузі карти врожайності та посіву стають все більш важливими, оскільки ці два рівні даних служать для розуміння реалізації програми VRS і здатності оцінювати її з точки зору переваг для окремого поля. Відсутність одного з цих рівнів ускладнює справжню оцінку та розуміння VRS і потенційно може створити хибнопозитивні результати для фермера. Одним із припущень будь-якого рівня даних є його якість. Неякісні дані призводять до помилкових результатів і, зрештою, до неправильних рішень. Зокрема, ці дані мають бути якісними, щоб визначити відповідні зони для VRS кукурудзи, оскільки вони, як правило, є динамічними або переглядаються протягом кількох років, коли збирається більше даних, і вимагає розуміння того, які екологічні аспекти в полі впливають на врожайність. Попередні дослідження показали проблеми з якістю застосованих карт і їх здатністю справді відображати просторову продуктивність машини, обладнаної VRT. Таким чином, важливий компонент успіху великих даних у сільському господарстві залежить як від технології, яку застосовують фермери, так і від якості шарів просторових даних, щоб аналітика, що розробляється, могла генерувати інформацію, яку фермери могли використовувати в процесі прийняття рішень.

Це дослідження було проведено, щоб краще зрозуміти поточні можливості впровадження VRS кукурудзи на півдні. Зокрема, інтерес до VRS кукурудзи зростає, як це видно зі збільшення кількості послуг VRS, які пропонують насіннєві компанії та сторонні компанії з управління даними точного землеробства. Дані про Посів в поєднанні з картами врожайності необхідні для забезпечення правильної оцінки та точного налаштування зонального управління для підтримки VRS. Автори припустили, що висока продуктивність сівалки для точного розміщення насіння в поєднанні з точним просторовим зображенням параметрів посіву вимагається від поточної технології посіву для успішного впровадження VRS. Основною метою цього дослідження було перевірити поточну польову продуктивність технології

посіву для точного розміщення насіння, одночасно розуміючи точність даних після посіву для відображення фактичної продуктивності сівалки. Конкретні цілі дослідження полягали в тому, щоб оцінити продуктивність сівалки при різних налаштуваннях глибини та притискної сили шляхом вимірювання глибини висіву насіння та досягнутої сходи в полі та вивчити поточну технологію посіву (блок дозування насіння, контролер змінної норми та відображення) для досягнення бажаної польової продуктивності під час роботи VRS.

1.2 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур

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

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

Подальше вдосконалення посівної техніки ведеться в напрямках підвищення рівномірності доставки насіння і добрив до сошників; забезпечення заданої рівномірності їх висіву по глибині; збільшення об’єму ємностей для насіння і добрив, а також зменшення часу на переведення широкозахватних комплексів в транспортне положення для транспортування на великі відстані і назад - в робоче.

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

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

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

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

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

Залишилося тільки розібратися в причинах нерівномірності сходів. На них пролили світло деякі досліди і аналіз даних систем точного землеробства. Наприклад, з'ясувалося, що на глибині загортання насіння, визначеної в літературі для відповідної культури в якості оптимальної, відносна вологість

ґрунту коливалася від 20 до 60%, а для успішного проростання насіння вологість на глибині їх закладки повинна становити не менше 30%.

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

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

Звичайно, про необхідність коригування глибини посіву або притискного зусилля залежно від ґрунтових умов знає кожен агроном. Однак на практиці не всі з сільгоспвиробників перенастроюють притискне зусилля при переїзді на поле з іншими умовами, так як не готові витрачати на це по 4-5 годин з 20 годин роботи сівалки на добу навесні в сезон.

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

1.3 Аналіз досліджень реакції висівних секцій на роботу системи керування притискною силою

Впровадження необхідних налаштувань сівалки визначає рівномірність розміщення насіння в різних польових умовах під час посіву. Сівалки просапних культур, оснащені технологією коригування притискної сили, дозволяють висівати на бажану глибину посіву, підтримуючи оптимальний рівень навантаження на колеса секцій, щоб запобігти малій глибині посіву або ущільненню ґрунту.

Ріст і розвиток рослин значною мірою залежить від того, як насіння поміщається в ґрунт під час посіву. Постійна відстань між насінням і глибина посіву дозволяють насінню мати потрібну вологість і контакт насіння з ґрунтом для ідеальних сходів. Для досягнення цих умов вирішальним є правильний вибір і застосування налаштувань притискної сили сівалки під час посіву. Притискна сила — це величина навантаження, яке переноситься висівним агрегатом, більшу частину якого сприймають відкривні диски, щоб прорізати ґрунт на бажану глибину. Колеса сприймають надлишкове навантаження, запобігаючи проникненню відкриваючих дисків глибше, таким чином зберігаючи глибину висіву. Відкриваючий диск може використовувати надлишкове навантаження на направляючі колеса (НК) в будь-який час, коли необхідне додаткове навантаження для проникнення в ґрунт. Однак посів на

ґрунті з важчою текстурою (глина) може вимагати більшої притискної сили, а навантаження на колеса може бути недостатнім, що перешкоджатиме проникненню диска в ґрунт на потрібну глибину, що спричинить ковзання коліс, що призводить до зменшення глибини посіву. З іншого боку, ущільнення ґрунту може статися, коли надмірне навантаження на колесо занадто велике.

Таким чином, важливо завжди підтримувати оптимальний рівень навантаження на колесо, щоб запобігти мілкій посадці або ущільненню ґрунту. Частіше потреба в притискній силі змінюється в межах поля через притаманну просторову мінливість поля. Вологість ґрунту, текстура та пожнивні рештки є декількома польовими умовами, які впливають на здатність дисків для належного проникнення в ґрунт. Так само недостатнє навантаження на висівний блок може спричинити низьку якість ходу висівного блоку, що може призвести до невизначеної глибини посіву та нерівномірного розподілу насіння. Якість ходу можна визначити як кількість вертикального переміщення висівного агрегату під час сівби. Таким чином, правильний вибір притискної сили має вирішальне значення для досягнення бажаної послідовності розміщення насіння. В даний час притискна сила реалізується через три системи: механічну, пневматичну та гідравлічну. У механічній системі притискної сили загальна притискна сила рядка залишається відносно незмінною під час посіву.

Сівалки, оснащені цією системою, складаються з механічних пружин і важелів, які можна регулювати, щоб визначити відповідне навантаження, яке необхідно застосувати для досягнення бажаної глибини посіву. Після встановлення це фіксоване навантаження буде застосовуватися під час посіву по полю. З різною вологістю та структурою ґрунту в полі, що вимагає різних рівнів притискної сили, сівалка може застосовувати різну притискну силу під час посіву, що може призвести до посіву на цільову глибину, невелику глибину або ущільнення ґрунту. Така ситуація може виникнути, оскільки оператори не

отримують зворотного зв’язку щодо впливу змінності поля на прикладену притискну силу. Таким чином, для заміни механічних пружин була розроблена система активної притискної сили, що використовує подушки безпеки (пневматичні) і гідравліку. Ці системи дозволяють операторам регулювати прикладене навантаження на основі фактичних польових умов під час посіву, забезпечуючи більш сталу притискну силу порівняно з механічною пружинною системою, що призводить до рівномірної глибини посіву та хорошого контакту насіння з ґрунтом по всьому полю. Система активного керування притискною силою складається з тензодатчиків, встановлених на кожному рядку, які забезпечують сигнали навантаження коліс у реальному часі. Система керування автоматично регулює притискну силу, порівнюючи навантаження, виміряне тензодатчиками, із запрограмованим цільовим навантаженням на колесо. Цільове навантаження вибирається оператором, якого достатньо, щоб підтримувати потрібну глибину посіву, не турбуючись про ущільнення ґрунту та неглибокий посів. Під час посіву гідравлічна або пневматична система активується системою керування для збільшення або зменшення притискної сили, щоб підтримувати цільове навантаження на колесо.

Пневматична система притискної сили складається з датчиків навантаження, які можна використовувати для моніторингу притискної сили під час посіву, і подушок безпеки для регулювання притискної сили шляхом надування та спуску на основі показань датчика навантаження. Однак час реагування цієї системи повільний, іноді потрібно до 20 секунд, щоб подушки безпеки надулися або спустилися, щоб виконати бажане регулювання притискної сили. У таких ситуаціях система могла пропустити ділянки в полі, які, можливо, потребували більшої притискної сили для належної глибини посіву. Найновіша система притискної сили використовує гідравлічні циліндри та приводи для майже миттєвого регулювання та створення

необхідної притискної сили. Коли датчики навантаження вказують на потребу в додатковій притискній силі, привід миттєво реагує, збільшуючи гідравлічний тиск, забезпечуючи додаткову силу, прикладену до висівного блоку. Оцінка автоматичної системи притискної сили сівалки важлива для розуміння здатності сівалки підтримувати застосовані налаштування для більш рівномірного розміщення насіння по полю. Наразі оцінку здатності системи активної притискної сили просапних сівалок запроваджувати бажані параметри за допомогою різних сценаріїв для моделювання змінних польових умов можна виконати за допомогою випробувального стенду притискної сили. Випробувальний стенд складається з горизонтальної платформи, яка може рухатися вгору та вниз, щоб імітувати зміни рельєфу поля. Він також здатний прикладати навантаження до відкриваючих дисків для імітації різної текстури ґрунту. Однак тестовий стенд можна використовувати лише для одного сценарію одночасно.

Однак існує мало знань про просторову мінливість НК, мінливість НК від ряду до ряду та про рекомендовані вимоги до контролю НК на сівалках, що працюють у фактичних польових умовах. Таким чином, завдання цього дослідження полягали в тому, щоб: 1) кількісно визначити мінливість НК в режимі реального часу між окремими секціями в межах 12-рядної сівалки, запрограмованої для впровадження постійного контролю притискної сили під час роботи в полі; 2) оцінити діапазон навантаження на колесо (НК) для окремої висівної секціїі та в межах 2-, 3- або 4-рядних секцій керування, щоб визначити оптимальний розмір секції керування притискною силою; 3) оцінити вплив структури ґрунту та ущільнення ґрунту через сліди шин на мінливість НК.

Стабільність глибини посіву та врожайності на початку вегетаційного сезону, такі як швидкість появи сходів і густота рослин, є ключовими

параметрами, що визначають ефективність посіву сівалок і кінцеву врожайність соняшнику.

Нерівномірну появу сходів можна пояснити нерівномірною глибиною посіву та різними польовими умовами, такими як розподіл пожнивних залишків у системах без обробітку ґрунту, умови посівного ложа та енергія насіння. Дослідження показали важливість посіву на оптимальну глибину, коли посадка понад порогову глибину може призвести до нерівномірного сходу рослин. показали, що глибина посіву була одним із головних факторів, що лежать в основі появи та вегетативного розвитку соняшнику. Досягнення бажаного кінцевого стану є важливим для отримання оптимальної врожайності. Глибока посадка може призвести до зниження сходів і поганого розвитку культури, що призведе до зниження врожайності на 6-22% .

Подібним чином мілка посадка може спричинити поганий ріст коренів або повну відсутність проростання. Системи посівних машин використовують притискну силу, щоб забезпечити необхідне навантаження на секцію для належної роботи ключових компонентів сівалки. Притискна сила – це загальна величина навантаження, яку несе висівна частина, яка складається з ваги висівної секціїі та зовнішнього прикладеного навантаження або сил.

Під час посіву притискна сила розподіляється між чотирма ключовими компонентами сівалки: відкриваючими дисками, направляючими колесами, закриваючими колесами та очисниками рядів або сошниками. Замикаючі колеса та очищувачі рядків поглинають відносно невелику частину притискної сили, і ця величина залишається відносно постійною. Більша частина притискної сили розподіляється між відкриваючими дисками, що вимагає певного навантаження, щоб створити борозну на бажану глибину для посіву, і направляючими колесами для підтримки глибини посіву.

Під час посівних робіт вимоги до навантаження на відкриваючий диск суттєво змінюватимуться через зміну фактичних польових умов, таких як зміна

текстури ґрунту, вологості, поверхневих залишків, рельєфу, швидкості руху, ущільнення ґрунту від руху сільськогосподарської техніки та конструкції дисків для відкриття борозни. Наприклад, із застосуванням фіксованої притискної сили посів на легкому текстурованому ґрунті потребує меншого навантаження на відкриваючі диски для створення борозни на потрібну глибину, і більше навантаження буде нести коліщатко. Навантаження на вимірювальне колесо називається навантаженням на направляюче колесо (НК) і підтримує контакт колеса із землею, забезпечуючи підтримку бажаної глибини під час посіву.

З іншого боку, створення борозни на більш важкому текстурованому ґрунті вимагає більшого навантаження на диски для розкриття ґрунту, що зменшує величину НК. У якийсь момент відкриваючі диски можуть вимагати додаткового навантаження, ніж доступне НК, і ця ситуація може спричинити втрату контакту опорного колеса з землею, що може призвести до мілкого посіву.

Рішення полягає в тому, щоб збільшити кількість додаткового навантаження, що прикладається до висівної секціїі або іноді називається «запасом» для відкриваючого диска, щоб досягти бажаної глибини та міцно тримати коліщатко на землі.

Однак застосування занадто великого навантаження може спричинити більшу глибину посіву, а також ущільнення бічних стінок, що може призвести до поганого розвитку коренів. Тому важливо вибрати відповідний рівень НК, який дозволить дискам мати додаткове навантаження, яке вони можуть використовувати в будь-якій пропорції без шкоди для глибини посіву насіння та не викликаючи ущільнення бічних стінок.

Здатність ґрунту проводити електричний струм вимірюється його електропровідністю (ЕП) і зазвичай повідомляється в мілісіменс на метр (мСм/м). Електричний струм може проходити через ґрунт через 1) ґрунтовий

розчин води та іонів у мережі пор, 2) катіони, прикріплені до поверхні частинок глини, і 3) частинки ґрунту, з’єднані одна з одною. Дослідження показали, що на більшості полів вищі значення ЕП пов’язані з вищим вмістом глини та органічної речовини, ніж у зонах з нижчим, таким чином, електропровідність має сильну кореляцію з розміром часток ґрунту та текстурою, а також із засоленням. Таким чином, просторові дані ЕП ґрунту можуть бути використані для диференціації текстури ґрунту в межах поля.

Ґрунт із вищою ЕП ґрунту вимагав би більшої сили, прикладеної дисками для відкривання, щоб відкрити насіннєву борозну, що зменшило б навантаження (або силу) на колеса і навпаки. Знайти оптимальну притискну силу може бути складно, оскільки умови посіву відрізняються у полі.

Через мінливість полів і ґрунтів висівні агрегати можуть навіть вимагати окремого контролю один від одного, щоб досягти рівномірної глибини посіву. Загалом, керування притискною силою на сівалці може здійснюватися або окремою висівною секцією, або секціями керування, що складаються з кількох висівних секцій за допомогою пружин натягу, подушок безпеки або гідравлічних циліндрів. Як правило, контактний тиск коліс із ґрунтом збільшується за рахунок збільшення натягу пружини через паралельні з’єднання, які кріплять рядкові блоки сівалки до рами інструменту.

Нові сівалки використовують гідравлічний циліндр або пневматичні приводи для регулювання передачі ваги на висівні агрегати для належного контакту коліс із ґрунтом. Правильні механізми керування притискною силою сівалки відіграють важливу роль у запобіганні ущільненню ґрунту та досягненні рівномірної глибини посіву. Попередні дослідження показали, що вимоги до тяги для відкриваючих дисків були вищими для важких порівняно з легкими ґрунтами.

Різні польові умови вимагають оптимального управління притискною силою для досягнення рівномірної глибини посіву. Однак обмежені

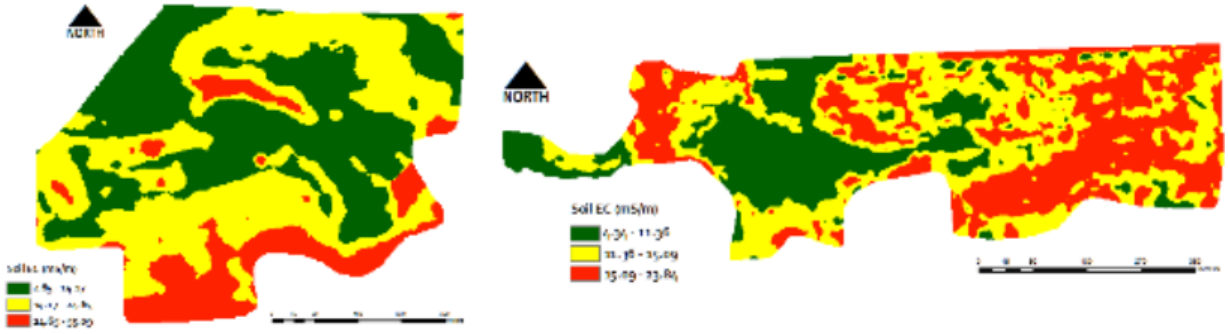
опубліковані рекомендації щодо ефективного використання комерційно доступних технологій та обладнання для роботи з просторовою мінливістю НК заважають виробникам визначити відповідну систему управління мінливістю НК у типовому полі під час посівних робіт.

Потрібне подальше тестування, щоб повністю зрозуміти реакцію системи на фактичні польові умови. Результати можуть дати виробникам краще бачення того, як окремі висівні секції реагують на впровадження системи притискної сили під час фактичних польових операцій. Тому це дослідження мало на меті оцінити реакцію висівного агрегату на автоматичне застосування притискної сили під час фактичних операцій посіву. Зокрема, щоб визначити реакцію прискорення висівного агрегату та навантаження на колесо висівної машини в реальному часі на кожній секції висівного агрегату в просторовому масштабі за постійної швидкості руху та на тестових смугах із змінними швидкостями руху.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕЬ

2.1 Конфігурація сівалки та система збору даних

Дослідження проводилося у 2023 році на двох кукурудзяних полях. Поле А (рис. 1a) — це поле площею 72,7 га, а поле В (рис. 1b) — це поле площею 62,9 га. Поле А використовує систему нульового обробітку з покривною культурою та помірною кількістю пожнивних залишків, тоді як Поле Б використовує систему смугового обробітку. На обох полях практикують кукурудзу в сівозміні сої. Використовуючи веб-дослідження ґрунту USDA, тип ґрунту варіюється від мулистого суглинку до мулистої глини та має помірно добре дренований грунт.



a **b**

Рис. 1 - Карти електропровідності досліджуваних ділянок, що показують розподіл текстури ґрунту по полю

Сівбу проводили за допомогою 12-рядної сівалки (рис. 2a), що агрегатується з трактором John Deere 8270R. Функціональність керування сівалкою була виконана за допомогою польового комп’ютера 2630John Deere (GreenStar-3, Молін, США), підключеного до електричного блоку керування сівалкою, надалі – ECU (Horsch Maschinen) через ISOBUS.

a b

Рис. 2 - (a) Сівалка для просапних культур, використана в дослідженні, і (b) розподіл висівних секцій у контрольних секціях

Сівалка була запрограмована для реалізації автоматичного керування висівними секціями сівалки, розділеними на чотири контрольні секції ис. 4.2b). Секція керування 1 – це правий кінець панелі інструментів, що складається з рядків 1, 2 і 3, тоді як секція керування 4 – це правий кінець панелі інструментів, яка включає рядки 10, 11 і 12. Секції керування 1 і 4 згадуються тут як секції крил. Контрольна секція 2 слідує за слідами шин трактора, які тут називають колійною ділянкою, що складається з рядків 4, 5, 8 і 9. Нарешті, контрольна секція 3 слідує за центром панелі інструментів, яка тут згадується як неколійна ділянка, яка включають ряди 6 і 7. Притискну силу було реалізовано шляхом ручного введення цільового НК на контрольному моніторі. ECU визначав величину тиску гідравлічного масла, яке необхідно застосувати до кожної контрольної секції, щоб досягти бажаного рівня притискної сили. Система запрограмована на підтримку цільового НК для кожної секції шляхом регулювання прикладеного гідравлічного тиску, коли НК вище або нижче цільового.

Датчик величини вихідного струму з діапазоном 4-20 мА (HAD 844L-A-0250-161) був встановлений у секціях керування 1, 2 та 4, тоді як секція керування 4 була оснащена виходом напруги датчик тиску (модель KM41) з лінійним діапазоном відгуку 0,5-4,5 В постійного струму. Дані про швидкість руху та положення сівалки одночасно збирали за допомогою GPS-пристрою з

точністю до субдюйма (GR5, Topcon Positioning Systems, Inc., США). Акселерометр (модель 3741E1210G, PCB piezotronics, Depew, NY, USA) був встановлений на висівних агрегатах 1, 5, 7 і 12 (рис. 3) для вимірювання прискорення висівних секцій. Положення секцій контролювали за допомогою потенціометра (модель 424A11A090B, Elabou sensor Technology Inc.), встановленого на одному з рядків.

Рис. 3 – Висівні секції, на яких були встановлені акселерометри для вимірювання їх прискорення

Компактний контролер реального часу cRIO (9204, National Inst.) і модулі (National Inst.) були використані для розробки системи збору даних. Спеціальна програма збору даних була розроблена з використанням Lab VIEW для запису сигналів від датчиків навантаження, гідравлічних перетворювачів тиску, потенціометрів, акселерометрів і GPS. Усі дані збирали на частоті дискретизації 10 Гц.

2.2 Аналіз даних

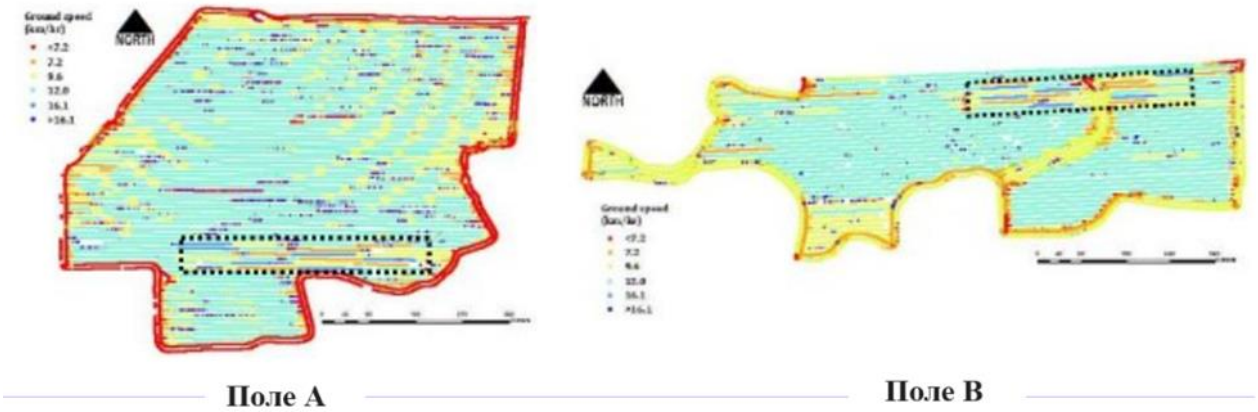
Посів проводили відповідно до типової практики посіву. Тестові смуги висаджували при швидкості руху від 7,2 км/год до 16,1 км/год. Довжина тестової смуги для кожного поля становить приблизно 30 м. Середня швидкість під час сівби на прямих рядах становила 12 км/год з поступальною швидкістю від 7,2 км/год до 9,6 км/год при проходженні контурів, водних

перепон, терас і поворотів на смузі. Цільове навантаження на опорні колеса секцій під час посіву було встановлено на 100±23 кг. Частота спостережень за навантаженням на опорне колесо в реальному часі та прискоренням висівної секції для кожної контрольної секції була побудована в Microsoft Excel.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Швидкість посіву

Робоча швидкість під час посіву на обох полях показана на рис. 4. Карти показують, що швидкість посіву на тестових смужках коливалася від 7,2 км/год до 16,1 км/год. Решту поля висівали із типовою швидкістю посіву 12 км/год з уповільненнями від 7,2 км/год до 9,6 км/год, що трапляється під час проходження контурів, водних перепон, терас і поворотів на смузі. Хоча швидкість сівби була нижчою на межі для поля А, яка становила менше 7,2 км/год.



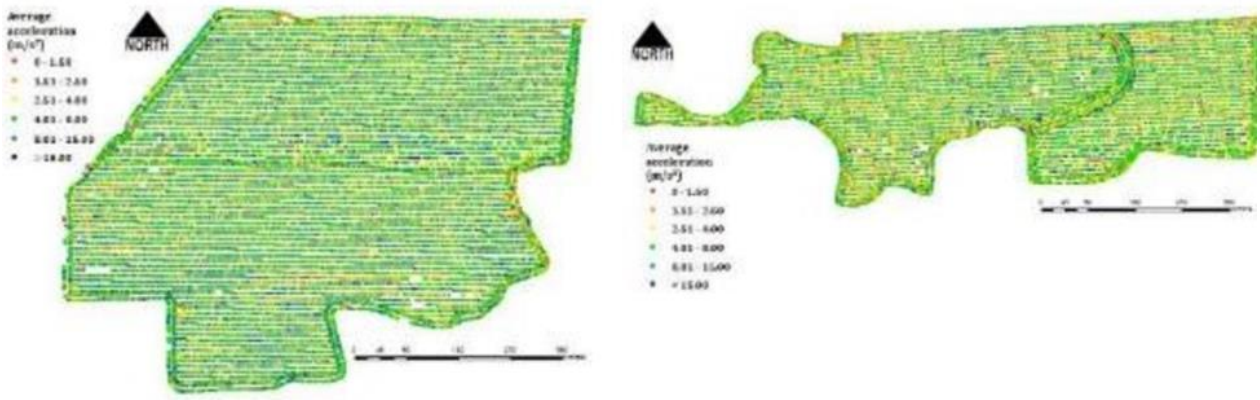
Поле А Поле В

Рис. 4 - Просторові карти, що показують швидкість на смугах (всередині рамки) і для решти ділянок на обох полях

3.2 Середнє прискорення секції в просторовому масштабі

Просторовий розподіл середнього прискорення висівної секції на панелі інструментів сівалки для обох полів показано на рис. 5. Можна спостерігати, що більшу частину часу середнє прискорення залишалося в межах від 4 до 8 м/с^2 на полі А з невеликою кількістю ділянок, де прискорення перевищувало 8 м/с^2. Подібним чином, прискорення висівної секції на полі В залишалося в діапазоні від 4 до 8 м/с^2, а в деяких місцях спостерігалося нижче прискорення менше 4 м/с^2. Нижче прискорення секцій на полі В певним чином пояснюється

через плавніший хід висівних секцій, спричинений розпушеною структурою ґрунту поля зі смуговим обробітком.



Поле А **Поле В**

Рис. 5 - Просторова карта середнього прискорення секцій на обох полях

На рис. 6 показано частоту прискорення окремих секцій сівалки для обох полів під час посіву.

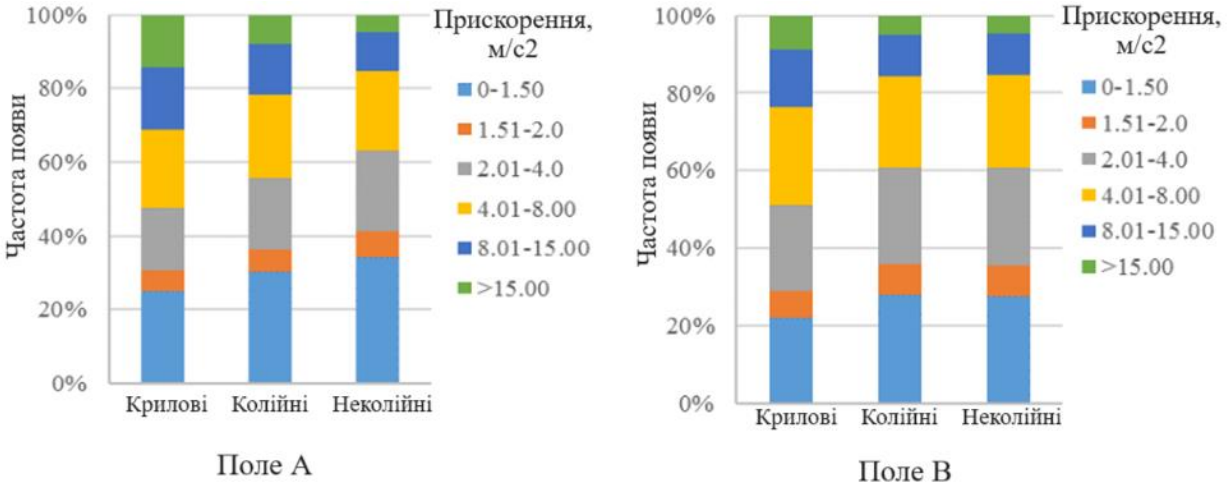


Рис. 6 - Розподіл прискорення секцій для кожного виду ділянки в просторовому масштабі на обох полях

Понад 55% часу прискорення висівних секцій на полі А було в межах від 2,1 до 4 м/с^2 або нижче. Секція крила зазнавала вищих вібрацій висівного агрегату, про що свідчить найнижча частота прискорення в цьому діапазоні – 48% часу, тоді як секції неколійні секції показали найвищу – понад 63% часу. Подібну тенденцію можна спостерігати для поля В, хоча результати свідчать про те, що нижча вібрація на висівних секціях була продемонстрована вищою

частотою появи для прискорення в межах від 2,1 до 4 м/с^2 або нижче. Більш ніж 58% часу прискорення висівної секції було в межах цього діапазону, а 42% часу воно було в діапазоні від 4,01 до 8 м/с^2 або вище. Знову ж таки, крилові секції показали вищу вібрацію висівного агрегату з 49% часу прискорення висівних секцій в діапазоні від 4,01 до 8 м/с2 порівняно з неколійною секцією лише з 37% часу. Зведені статистичні дані прискорення по трьох секціях в просторовому масштабі наведені в таблиці 1. На полі А секція крила показала найвище прискорення 8,56 м/с^2 і варіабельність 12,07 м/с^2, тоді як колійні та неколійні секції показали найнижче 6,15 і 5,05 м/с^2, відповідно, з майже однаковим стандартним відхиленням.

Подібним чином прискорення висівної секції було вищим на крилових секціях для поля В, хоча середнє значення та мінливість були зменшені. Варіабельність прискорення висівної секції на колійній ділянці була нижчою порівняно з ділянкою без колії. Це може продемонструвати, що на полі зі смуговим обробітком ущільнення ґрунту шинами трактора вздовж ділянок колії може згладити поверхню ґрунту, потенційно зменшуючи прискорення висівного агрегату.

Таблиця 1 - Підсумкове прискорення висівної секції (м/с^2) на секціях для обох полів

Секції	Поле А		Поле В	
	Середнє, м/с^2	Ст. відхилення, м/с^2	Середнє, м/с^2	Ст. відхилення, м/с^2
Крилові	8,56	12,07	6,48	8,93
Колійні	6,15	8,30	4,85	7,08
Неколійні	5,05	8,20	5,03	8,18

Прискорення висівної секції на тест-смугах

На рис. 7 показано залежність між прискоренням висівної секції та швидкістю руху. Для обох полів прискорення на кожній секції зростає лінійно зі зростанням швидкості. Більший нахилкривої на графіках для крилових секцій вказує на те, що на нихочікується більш високе прискорення, оскільки швидкість ґрунту зростає з 7,2 км/год до 16,1 км/год.

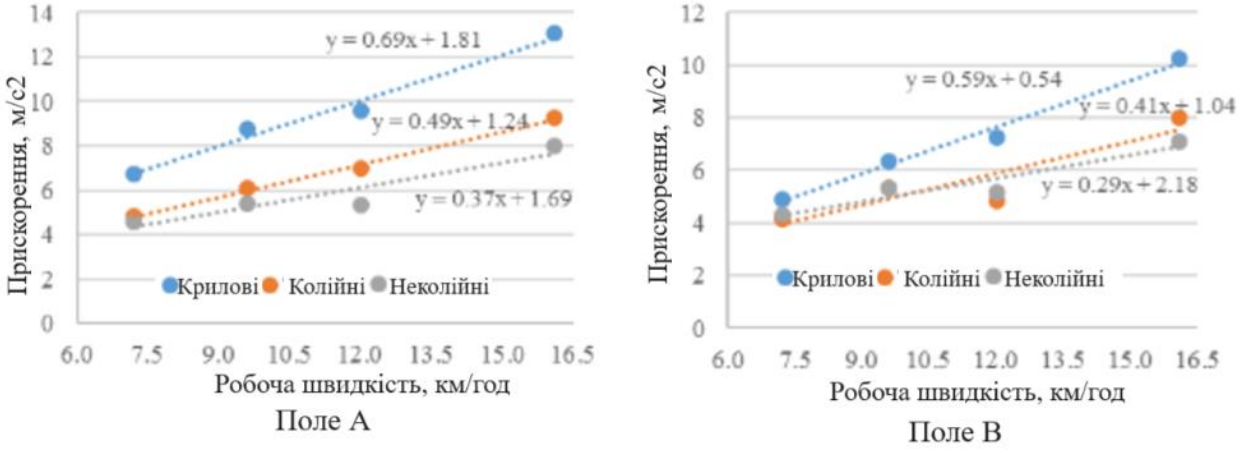


Рис. 7 - Прискорення секцій як функція швидкості руху на обох полях

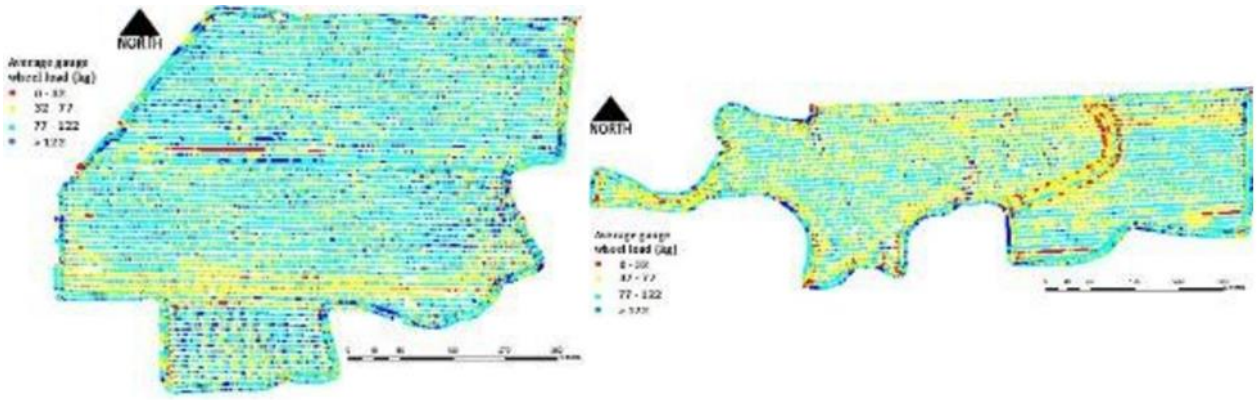
Такі результати ілюструють, як вібрація на крилових секціях може потенційно знизити якість руху висівного агрегату через вертикальне переміщення секцій у відповідь на нерівності поверхні ґрунту, особливо під час руху вздовж хвилястості ґрунту та більшої швидкості посіву. Занадто сильна вібрація секцій, особливо при високій швидкості руху, потенційно може вплинути на рівномірність розміщення насіння під час посіву, що може вплинути на появу сходів рослин і загальну популяцію.

На відміну від крилових секцій, неколійні, які розташовані в центрі панелі інструментів, зазнавали мінімальної вібрації, що призводить до нижчого їх прискорення. Крім того, твердіший ґрунт на полі без обробітку також може вплинути на якість руху висівного агрегату на ділянках з коліями шин. Для смугового обробітку поля ущільнення ґрунту від шин на обробленому ґрунті вирівнює поверхню, що може зменшити вібрацію висівного агрегату. Це може бути однією з потенційних причин різного прискорення висівної секції між

колійною та безколійною ділянками на полі. У середньому прискорення висівних агрегатів було на 18% вищим на ґрунті без обробітку. Такий результат підкреслив, що борозенні сошники частіше підскакують на ґрунті без обробітку, особливо на вищих швидкостях. Різкі та нерівні рухи висівних секцій під час удару по твердих місцях на полю можуть перервати потік насіння з системи дозування на землю.

3.3 Просторовий масштаб у режимі реального часу навантаження колеса (НК)

Просторовий розподіл середнього навантаження на опорне колесо секції в режимі реального часу на панелі інструментів сівалки для обох полів під час сівби показано на рисунку 8. Приблизно 55% часу середнього навантаження на колесо в режимі реального часу було в межах цільового діапазону від 77 до 122 кг на полі А, тоді як на полі В лише близько 40% часу.



Поле А Поле В

Рис. 8 - Просторова карта навантаження на опорне колесо в реальному часі на обох полях

На рисунку 9 показано розподіл НК у режимі реального часу по секціях сівалки на обох полях.

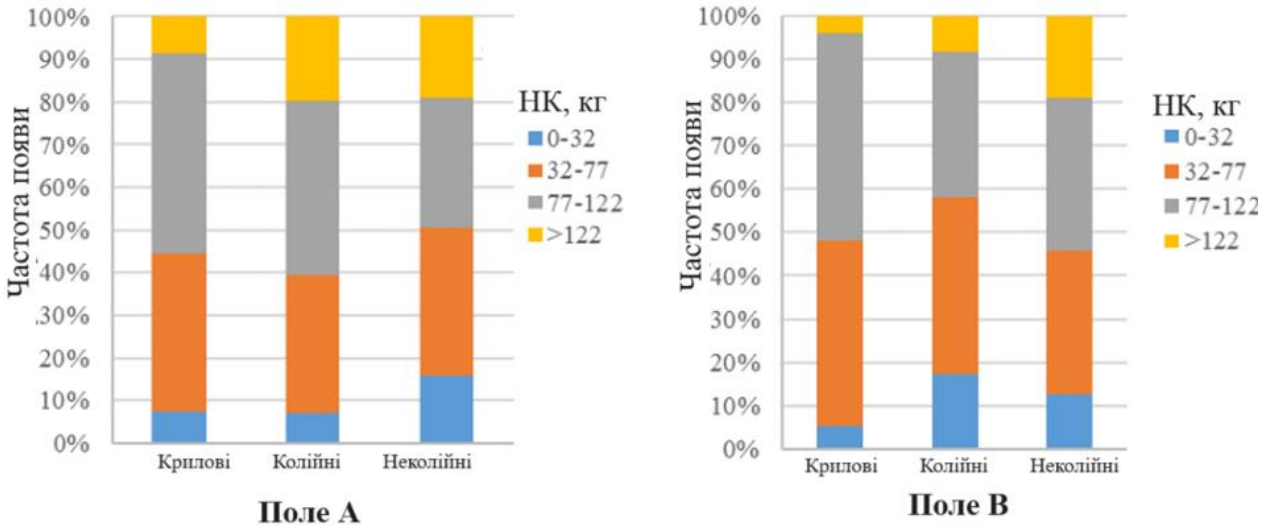


Рис. 9 - Розподіл навантаження на колесо для кожної секції в просторовому масштабі на обох полях

Результати показують, що частота випадків, коли середнє навантаження колеса секції було в межах цільового діапазону, становила 39% для обох полів. Секції крила показали найвищу частоту з понад 47% і 48%, а секції без колії найнижчу з 30% і 36% для полів A і B відповідно. Незважаючи на те, що секція крила показала найвище прискорення висівного агрегату, згинання панелі інструментів могло допомогти поглинути швидкі вібрації висівного агрегату, що дозволило навантаженню на колесо висівного механізму залишатися в більш жорсткому діапазоні.

На секціях без колій може спостерігатися менше випадків вібрації, але висівні секції можуть відчувати більш раптові вібрації машини, оскільки вони розташовані на більш жорсткій частині панелі інструментів. Цей результат свідчить про те, що збільшення прискорення висівних секцій не відповідає зменшенню навантаження на опорне колесо, що свідчить про здатність системи керування притискною силою підтримувати рівномірне навантаження на колесо на панелі інструментів навіть за різної вібрації на висівних секціях при майже постійній швидкості руху 7,2 км/год. Навантаження на колесо, не зосереджене в одному діапазоні, вказує на те, що система не змогла реагувати на зміну вимог до навантаження під час посіву. Це може бути пов’язано з

динамічними польовими умовами, що спричиняють значну зміну навантаження колеса на дуже короткій відстані.

Хоча навантаження на проникнення в ґрунт на полі без обробітку загалом є вищим порівняно з обробленим ґрунтом, результати показують, що система активної притискної сили змогла забезпечити порівнянне навантаження на колесо при різному опорі ґрунту на кожній секції висівного агрегату. з майже однаковою частотою розподілу навантаження на колесо на обох полях. Таблиця 2 показує просторове навантаження на колесо в режимі реального часу на секціях для обох полів. Середнє навантаження на колесо коливалося від 80,88 кг до 88,46 кг, причому неколійна частина демонструвала найвищу змінність, а секція крила – найменшу.

З іншого боку, середнє навантаження на колесо на коліях на полі В коливалося від 70,50 кг до 84,05 кг. Подібно до поля А, секція крила призвела до найнижчої варіативності навантаження колеса, тоді як відсутність колії – найвищої. Результати показують, що навантаження коліс сівалки на секції крил залишалося досить рівномірним під час посіву. З іншого боку, безколійна ділянка показала вищу мінливість із найвищим стандартним відхиленням.

Таблиця 2 - Зведена статистика просторового масштабу в режимі реального часу навантаження коліс (кг) на секції для обох полів

Секції	Поле А		Поле В	
	Середнє, кг	Ст. відхилення, кг	Середнє, кг	Ст. відхилення, кг
Крилові	80,88	29,62	76,99	26,07
Колійні	88,46	36,97	70,50	36,47
Неколійні	80,62	47,64	84,05	44,52

Під час посіву на обох полях встановлювалося однакове цільове навантаження на колесо на колійних ділянках. Однак поле без обробітку могло вимагати більшого навантаження для проникнення сошникових дисків, що призвело до вищого прикладеного гідравлічного тиску порівняно з полем зі смуговим обробітком. Приблизно 40% часу гідравлічний тиск знаходився в межах від 13,81 до 17,20 мПа і приблизно 48% часу він знаходився в діапазоні від 17,21 до 20,70 мПа (рис. 10). З іншого боку, близько 80% часу гідравлічний тиск знаходився в межах від 13,81 до 17,20 мПа на полі В. На обох полях безколійні ділянки продемонстрували найвищий прикладений гідравлічний тиск, що свідчить про те, що на рядах уздовж центру панелі інструментів потрібно більше навантаження. щоб досягти бажаного навантаження на колесо.

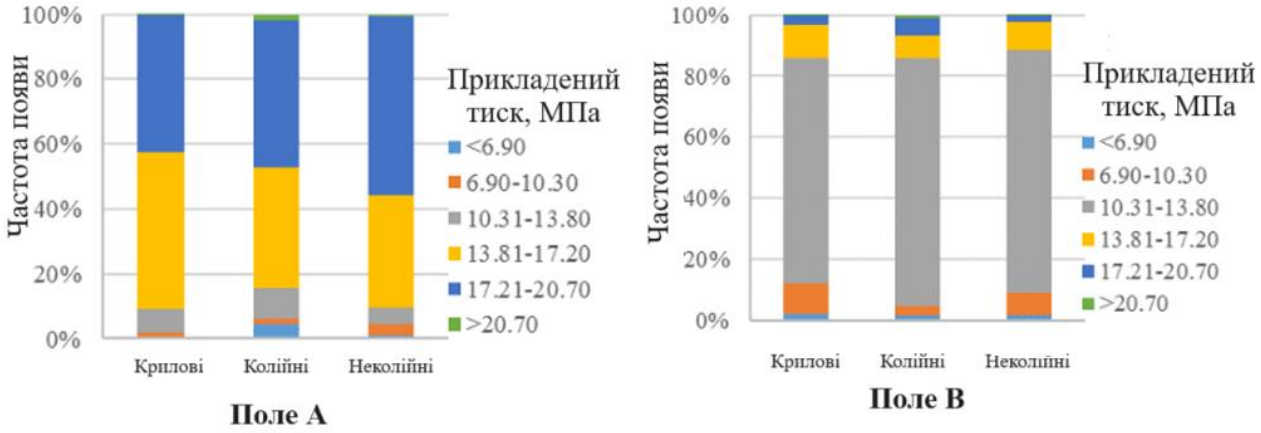


Рис. 10 - Застосований гідравлічний тиск на секції на обох полях

На рис. 11 представлено вплив швидкості руху на навантаження на колесо секції в реальному часі. Здається, що середнє навантаження на колесо зменшується зі збільшенням швидкості руху на всіх секціях висівного агрегату на обох полях. Поле А демонструє більш високе зниження навантаження на колесо порівняно з полем В. Секції крила та неколійні секції показують вищу потребу в притискній сили в полі А, порівняно з секцями крила та колійними в полі В. Оскільки поле В обробляється смугово, ефект втрати навантаження

колеса при збільшенні швидкості більш помітний на полі А, оскільки поле без обробітку вимагає більшого навантаження для проникнення в ґрунт. Результати вказують на потенційну кореляцію між прискоренням висівного агрегату та навантаженням на колесо, що підкреслює важливість вибору ідеальної притискної сили для певної швидкості посіву щоб мінімізувати вібрацію висівного блоку.

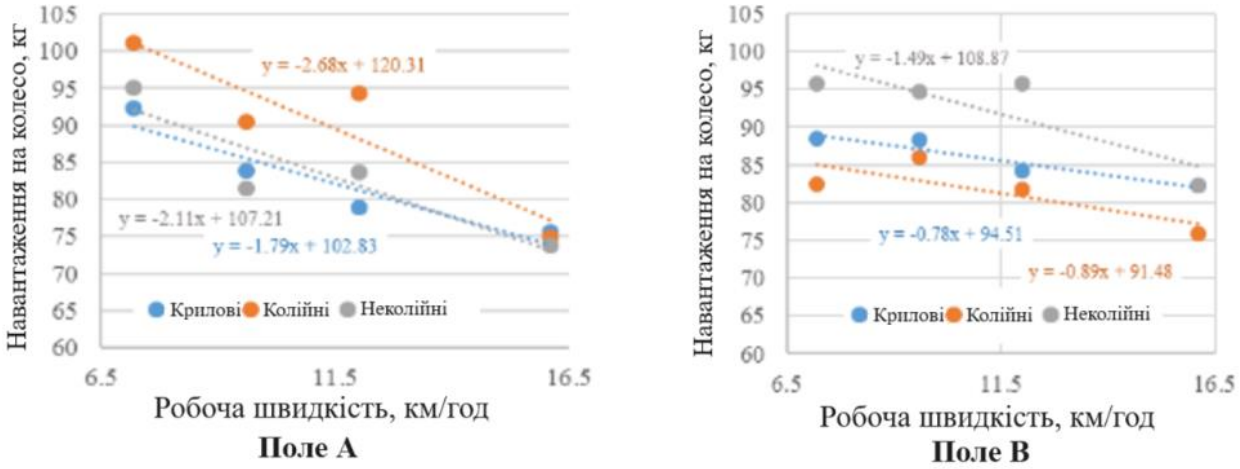


Рис. 11 - Вимірювання навантаження на колесо коліс у режимі реального часу залежно від швидкості руху на секціях висівних агрегатів на обох полях

Попереднє дослідження показало, що відскок секцій впливає на рівномірність розміщення насіння. Підвищена вібрація висівного агрегату при зростанні швидкості на окремих секціях висівного агрегату також може вплинути на рівномірність розміщення насіння, що вимагає майбутніх досліджень.

ВИСНОВКИ

Результати дослідження дозволили зробити наступні висновки: Прискорення секцій на крилових, колійних і неколійних ділянках зростає зі швидкістю. Найбільше прискорення спостерігалося на крилових секціях на полі без обробітку.

Ґрунт зі смуговим обробітком продемонстрував нижче прискорення висівного агрегату на 18% порівняно з ґрунтом без обробітку.

У просторовому масштабі система активної притискної сили змогла підтримувати навантаження на колесо секції в межах цільового діапазону на лише в 39% часу на обох полях.

Зі змінною швидкістю руху під час випробувань система коригування притискної сили показала свою здатність підтримувати бажане навантаження на колесо секції в межах цільового діапазону на кожній секції на полі без обробітку для швидкостей руху в діапазоні від 9,6-12 км/год. Навантаження на колесо на смугово-обробленому полі залишалося в межах цільового діапазону на ділянках із коліями та без на всіх швидкостях руху. Потреба в притискній силі зростає на швидкості 16,1 км/год для поля без обробітку по всіх секціях і на колійній ділянці для поля зі смуговим обробітком.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Схожість насіння як один із важливих показників [Електронний ресурс] // syngenta.ua. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://www.syngenta.ua/news/novini-kompaniyi/shozhist-nasinnya-yak-odin-iz-vazhlivih-pokaznikiv.

2. Чому необхідно перевіряти схожість насіння перед посівом [Електронний ресурс] // Головне управління Держпродспоживслужби в Черкаській області. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://www.cherk-consumer.gov.ua/hromadianam/upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/novyny-upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/1965-chomu-neobkhidno-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-soniashnyku-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-strokiv-ta-norm-visivu-na-urojaynist-sonyashnika.

6. Сіяти соняшник зі змінною нормою чи ні? Результати досліду 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/faktory-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-faktory-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-faktory-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/faktory-yaki-vyznachayut-yakist-sivby/.

17. 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

Додатки