

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

**До захисту
Допускається
Завідувач
кафедри**

Шуляк М.Л.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за магістерським рівнем вищої освіти

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

Виконав:

_____ (підпис)

Бондаренко В.В.

_____ (Прізвище, ініціали)

Група:

СТЗ 2301-1м ВН

(Науковий) керівник:

_____ (підпис)

Лебедєв А.Т.

_____ (Прізвище, ініціали)

Суми – 2024

РЕФЕРАТ

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

Ключові слова: ТОЧНІСТЬ ВИСІВУ, ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАЧІ ВИСІВУ, ВИСОКОШВИДКІСНА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, СИНГУЛЯЦІЯ, КОНТРОЛЬ НОРМИ.

Мета роботи - оцінити здатність системи дозування насіння розділяти насіння за типовими сценаріями з конкретними цілями: кількісно визначити точність електричного дозування насіння за допомогою високошвидкісного зображення та визначити робочі стани машини, які впливають на точність висіву.

Сівалці Horsch Maestro 24.30 було надіслано команди посіву на постійних швидкостях 7,2, 9,7, 12,0 км/год із прискоренням/уповільненням на 2,4 та 4,8 км/с від старту до зупинки.

Сівалці надсилалися команди сіяти навколо контурів на різних радіусах (20, 40, 80, 150 м) із різними швидкостями (тобто 0, 2,4, 4,8, 6,4, 7,2, 9,7, 12,1, 12,9, 14,5, 16,1 км/год). Моделювання проводилося при двох нормах (44 550 і 89 110 насінин/га). Високошвидкісну систему візуалізації було розроблено з використанням LabVIEW для запису в режимі реального часу сингуляції зі швидкістю 300 кадрів/с шляхом поєднання станів сівалки з даними датчика насіннепроводу та вимірювань насіння на основі зору для кількісної оцінки підрахунку насіння, пропусків і двійників.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз досліджень по темі роботи	7
2 Методика досліджень	12
2.1 Конфігурація сівалки.....	12
2.2 Система вимірювання та керування.....	13
2.3 Експериментальний план посіву.....	15
2.4 Налаштування високошвидкісної системи обробки зображень (HSIS).....	17
3 Результати досліджень та їх аналіз	26
Висновки.....	36
Список використаних джерел.....	38

ВСТУП

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.

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

1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ТЕМІ РОБОТИ

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

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

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

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

Згідно з даними Precision Planting Inc., зниження відсотка сівби на 1% знизило потенційну врожайність на 150 кг/га. Аналізуючи ефективність висіву, пов'яжемо фактичну норму висіву з теоретичним інтервалом між

насінням, отриманим у вигляді відсотка поділу, який є функцією точності дозування насіння.

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

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

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

Поля неправильної форми створюють потребу в технології автоматичного керування секціями (ASC), щоб сигналізувати про керування окремими секціями. Індивідуальне керування висівним блоком використовується для підтримки цільових норм внесення, мінімізації

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Конфігурація сівалки

Для випробувань було обрано сівалку з електричними приводними системами вимірювання. Сівалку Horsch Maestro 24.30 SW (24 рядки з інтервалом 70 см) використовували для моделювання різних сценаріїв стану машини, описаних у розділі нижче. У висівному апараті Horsch Maestro використовувалися окремі електричні приводні двигуни з роздільними висівними дисками, що відповідають типу та розміру насіння кожної культури, для керування окремими висівними апаратами на основі сигналу швидкості від контролера сівалки.

Дисплей Terminal ME (Horsch, Mapleton, Північна Дакота) керував кожною висівною одиницею для певних швидкостей сівалки при 10 Гц. Контролер Horsch Terminal ME регулював швидкість висівного апарату через сівалку, використовуючи реакцію швидкості від радарних датчиків швидкості (Radar III) з лівого боку, посередині та праворуч на рамі сівалки (рис. 1А). Контролер порівнював сигнал швидкості від лівого, середнього та правого радарів швидкості, щоб обчислити параметр різниці швидкості.

Контролер підтримував режим контролю прямого проходу, якщо різниця швидкостей між лівим і середнім радаром швидкості становить 0,5 км/год. Вимоги до гідравлічного повітрорудки, вакууму та електрики сівалки були забезпечені Challenger MT 875C (AGCO, Дулут, Джорджія). Вакуумна система сівалки працювала при тиску 7,46 кПа згідно з оригінальною рекомендацією виробника.

Для цього дослідження використовували суміш насіння марки DEKLAV DKC48-12RIB (Монсанто), що має ознаки Genuity45, Smart і RIB34. Секції сівалки були налаштовані з насінневими дисками для посіву середнього круглого насіння з 21 пазом, що забезпечує подачу 21 насінини за кожен оберт висівної пластини.

2.2 Система вимірювання та керування

Контрольний портативний комп'ютер (Latitude 3540, Dell) використовував ЦП i7-4600 на 2,10 ГГц (Intel, Санта-Клара, Каліфорнія) з 8,00 ГБ встановленої пам'яті (RAM) і 64-розрядна операційна система. Compact Rio (cRIO) (Compact Rio Controller 9204) служив системою збору даних (DAS) для моделювання сигналів керування сівалкою та фіксації реакції сівалки двигунів висівних агрегатів і вимірювань насінневих трубок. (Рис. 1В). Для кожного сценарію посіву було створено текстовий файл, який містив послідовність сигналів швидкості для кожного з трьох радарів швидкості.

Текстовий файл симуляції був написаний для симуляції та оновлення швидкості сівби до головного регулятора норми Horsch на 10 Гц. Змодельовані сигнали посіву, створені DAS, зчитувалися контролером сівалки, таким чином замінюючи радарні датчики сівалки. Як показано на рис. 1А, датчики оригінального виробника насінневої трубки (Hy Rate Plus™), уже встановлені на висівній секції відповідно до специфікацій оригінального виробника, використовувалися для реєстрації кількості насіння в насінневій трубці та часового інтервалу на ряди 1, 14 і 24 (представляють лівий середній і правий рядки); були використані енкодери через отвір (260-N-T-15-S-3000-Q-PP-1-S-FA-2-N, Encoder) з 3000 імпульсами на оберт і похибкою вимірювання $\pm 0,2$ об/хв. для вимірювання частоти обертання двигуна висівного висівного апарата для рядів 2, 15 і 23; і високошвидкісне зображення, отримане з рядків 1, 14 і 24 (рис. 1 і 2).

Трубки подачі насіння були від'єднані для висівних агрегатів 2, 15 і 22, щоб точно записати оберти двигуна. Програма в LabVIEW була написана для читання кожного рядка з текстового файлу симуляції з частотою 10 Гц. Прочитаний рядок було проаналізовано в програмі для розділення сигналів швидкості для трьох радарів швидкості. Дані насіннепроводу порівнювали з високошвидкісною програмою аналізу зображень, щоб порівняти точність

висіву вимірювань насіннепроводу та високошвидкісної програми аналізу системи зображення.

Лінія лінійної регресії була підігнана до швидкості, яка відображається на контролері Horsch, де вхідна частота прямокутної хвилі генерувала калібрувальну криву. Модуль серії C National Instruments 9476 використовувався для генерації та введення прямокутного сигналу 12 В від 26 до 600 Гц на контролер Horsch Terminal ME сівалки та запису швидкості, яка відображається на дисплеї контролера. Для проведення випробувань у статичному режимі для генерування сигналів швидкості для головного комп'ютера сівалки використовувалась залежність швидкості від прямокутної частоти замість інтегрованої системи радара швидкості сівалки.

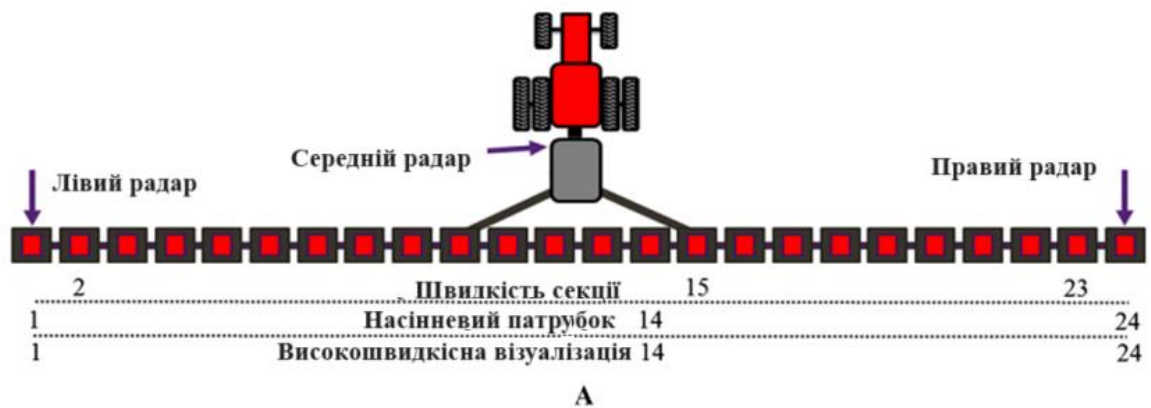


Рис. 1 - Конфігурація сівалки для збору даних насінневої трубки, швидкості висівного двигуна та високошвидкісного зображення (А)

Конфігурація сівалки для керування системою висіву та фіксації даних за допомогою основних компонентів приводу сівалки (В)

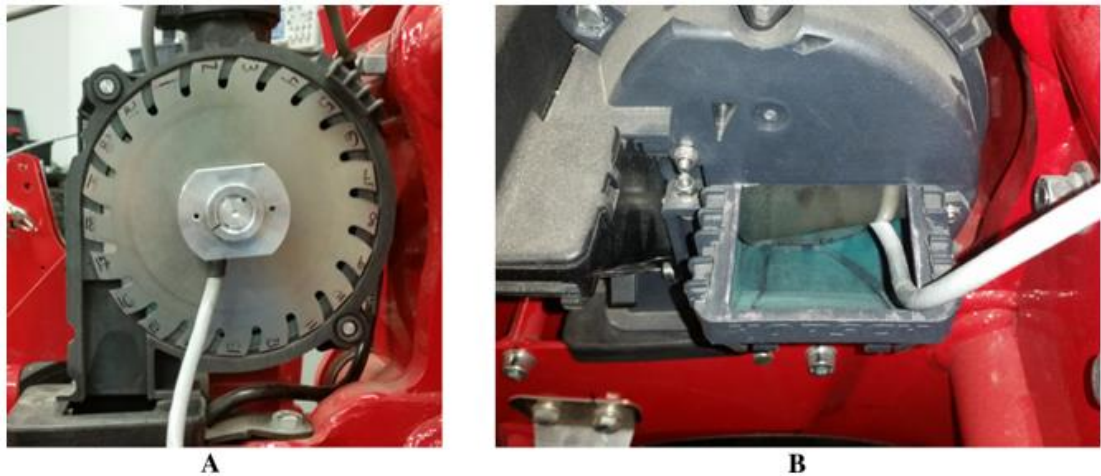


Рис. 2 - Поворотний енкодер і висівний диск (А) і зібраний висівний апарат (В)

Програма Lab VIEW генерувала розраховану частоту прямокутної форми сигналу за допомогою модуля цифрового виводу (9476, National Instr., Сполучені Штати) для введення в головний комп'ютер. Сигнал насінневої трубки в режимі реального часу та три кодери, встановлені на двигунах висівного апарата, були відібрані за допомогою модулів цифрового введення (9476, National Inst., США) на 10 Гц.

2.3 Експериментальний план посіву

Дані про посадку з полів кількох виробників були переглянуті, щоб визначити загальну практику в полі для імітації швидкостей посіву на основі поведінки оператора (Таблиця 1). Тести аналізу сівалки проводилися з популяціями насіння 44550 і 89110 насінин/га, щоб імітувати посів як із звичайною високою, так і з низькою нормою.

Таблиця 1 – Сценарії симуляції прямолінійного посіву

Стартова швидкість, км/год	Постійна швидкість, км/год	Прискорення/сповільнення, км/год	Повторюваність
0, 7.2, 9.7, 12.0	7.2, 9.7, 12.0	2.4, 4.8	3

Кожне моделювання посіву повторювалося 3 рази для забезпечення повторюваності та точності. Прискорення та уповільнення швидкості були обрані на основі емпіричних даних, отриманих із багатьох операцій серед допоміжних виробників. Поведінка оператора щодо зміни швидкості була досліджена під час поворотів на смузі та проходження перешкод у полі та змінних контурів поля.

Під час навігації через перешкоду в полі, таку як водний шлях, тераса або раковина, типовою реакцією оператора було швидке уповільнення на повороті, переїзд через перешкоду, а потім швидке прискорення до попередньої швидкості посіву. Використовуючи спостережувані тенденції посіву, було вибрано два поступових прискорення та уповільнення 2,4 км/с (повільний) і 4,8 км/с (швидкий) для імітації змін швидкості посіву, і відтепер вони будуть називатися повільним і швидким.

Дослідження виявили, що деякі оператори віддають перевагу входу та виходу з поворотної смуги на швидкості посіву, тоді як інші оператори надають перевагу входу та виходу з поворотної смуги на меншій швидкості (швидкості старту), а не прискоренні до постійної швидкості посіву. Таким чином, симуляції вибраного сценарію посіву проводилися з швидким і повільним прискоренням і уповільненнями, а також різкими змінами швидкості, щоб відтворити сівалку, яка отримала сигнал увімкнення, коли сівалка вже перебуває на бажаній швидкості, наприклад, під час завершення повороту на поворотній смузі або активації окремого керування рядками за допомогою керування секціями.

У той час як типові швидкості висіву варіювалися від 7,2 до 9,7 км/год, симуляції посіву під час прямолінійних умов посіву були обрані в діапазоні швидкостей 7,2–12,0 км/год, щоб порівняти продуктивність лічильників насіння з електричним приводом за традиційних робочих швидкостей і вищих робочих швидкостей. Під час кожного випробування сівалка працювала на кожній початковій швидкості протягом 20 с, поки сівалка не перейшла на постійну швидкість, де вона працювала ще 20 с.

Після посіву на постійній швидкості сівалка прискорювалася або сповільнювалася до стартової швидкості, де вона працювала протягом 3 с, перш ніж сівалка вимикалася. Загалом, після 3 повторень тесту, сівалка працювала принаймні 1 хвилину на кожній із обраних швидкостей, що дозволяло виділити від 500 до 2000 насінин, що призвело до подвійної рекомендованої тривалості тесту згідно з ISO 7258/1.

Щоб імітувати комбінації станів машини (як зазначено в таблиці 1), сівалка отримала сигнал почати сівбу на стартовій швидкості, прискоритися до постійної швидкості, а потім уповільнитися до стартової швидкості, коли висівний блок був вимкнений, як показано на рис. 3. На додаток до прямолінійної посіву, поля неправильної форми зазвичай створювали умови, коли оператор повинен здійснювати посадку по контуру навколо перешкоди.

З цієї причини сценарії контурної посіву були змодельовані навколо 4 різних радіусів контуру (Таблиця 2). Під час сівби по контуру різні кутові швидкості поперек сівалки досліджувалися шляхом аналізу висівних блоків у лівому (секція 1), середньому (секція 14) і правому (секція 24) положеннях на планці сівалки. У той час як різні постійні швидкості моделювалися в середині сівалки, кутові швидкості в діапазоні від 0 до 16,1 км/год були зафіксовані на висівних секціях 1 і 24.

Сівалку прискорювали та сповільнювали зі швидкістю 4,8 км/год для досягнення бажаної швидкості на контурах. Сценарії контурної посіву навколо перешкод різного радіусу та різних постійних швидкостей проілюстровано на рис. 4.

2.4 Налаштування високошвидкісної системи обробки зображень (HSIS)

Контрольний портативний комп'ютер використовувався для налаштування, керування та отримання зображень із високошвидкісної камери (асА640-750uc, Basler, Німеччина) (рис. 5). Високошвидкісна камера має матрицю з фіксованою матрицею 640 480 пікселів, налаштовану на

виведення кольорів із червоно-зелено-синім зображенням у форматі файлу зображення тегів (TIFF) для обробки та обробки зображень. На відстані монтування результуюча просторова роздільна здатність становила 0,2 мм на піксель. Це червоно-зелено-синій (RGB) зображення було налаштоване на 8 біт роздільної здатності, дискретні значення від 0 до 255, на кольорову смугу, що призвело до розміру зображення 903 Кб.

Час експозиції камери було встановлено на рівні 1250 мікросекунд (l). Розмір буфера оперативної пам'яті комп'ютера було встановлено на 99,999 кадрів за секунду (fps) для зберігання зображень у буфері камери, поки зображення зберігаються на ноутбучі, таким чином усуваючи пропущені кадри камери під час передачі зображення. Високошвидкісна камера була налаштована за допомогою керуючого програмного забезпечення Pylon Viewer (Німеччина). Камера була налаштована на передачу та запис зі швидкістю 300 кадрів/с із швидкістю передачі даних 92 МБ/с через протокол USB 3.0. Вібрації були враховані при конструкції кріплення камери. Вібрації між сівалкою та камерою призвели б до тонких рухів у межах кожного кадру камери, якби відносний рух між камерою та сівалкою не був однаковим. У результаті камеру було встановлено безпосередньо на висівний апарат, щоб обмежити вплив вібрацій.

Для обмеження вібрацій кріплення камери було виготовлено з 6 мм кутника. Було ретельно розглянуто, щоб усунути будь-які вібрації, які могли виникати від вакуумного та окремого висівного апарата. Початкові тести, проведені на установці, показали відсутність розмиття зображення або тремтіння під час використання виготовленого кріплення камери. Кріплення камери забезпечувало фіксоване поле зору початкової пластини для розробки програмного забезпечення аналізу зображення. Початковий аналіз набору тестових даних показав, що послідовний і точний FOV може забезпечити достовірний аналіз зображень від одного набору даних до іншого. Світлодіодна стрічка (4NFLS-x2160-24V) була використана для забезпечення додаткового освітлення для освітлення дверцят доступу до

висівного диска. Потрібне було додаткове освітлення через час експозиції, необхідний для зйомки 300 кадрів в секунду (рис. 6). Кожен слот у диску для дозування насіння було пронумеровано, щоб ідентифікувати послідовний потік зображень (рис. 6A). Поле зору камери (FOV) було спрямоване на дверцята доступу, щоб відкрити насінневу пластину, одиничний висівний дозатор і насінневу трубку (рис. 7). Перевірки вручну підтвердили, що високошвидкісні зображення не видалялися за допомогою вбудованого буфера зображень RAM камери.

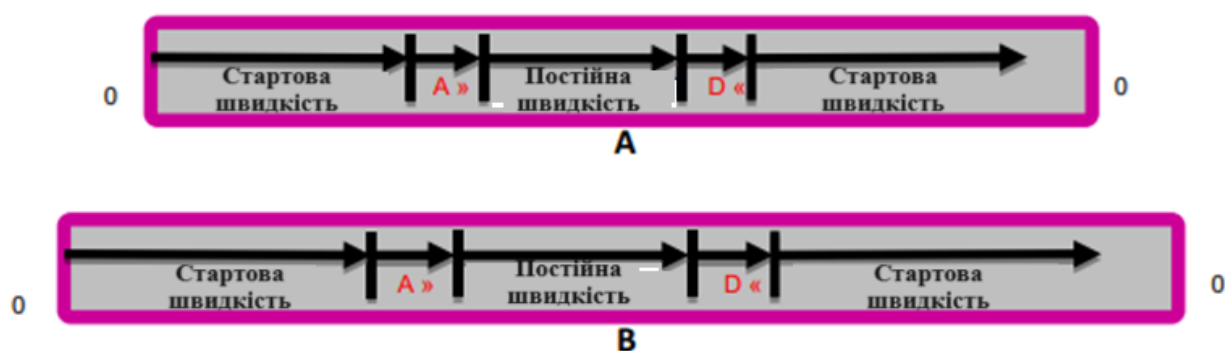


Рис. 3 - Симуляція посіву з прискореннями/уповільненнями під час прямолінійних сценаріїв посіву для повільного (B) і швидкого (A) прискорення та уповільнення. Початкові швидкості – це швидкість, коли сівалка запускається, тоді як постійна швидкість – цільова швидкість висіву. A і D позначають прискорення та уповільнення, що здійснюються під час переходів швидкості; а стрілки вказують напрямок руху сівалки.

Таблиця 2 Сценарії моделювання контурної посіву

Секція	Постійна швидкість, км/год	Швидкість при поворотах, км/год	Радіуси поворотів, м	Повторюваність
1, 14, 24	6.4, 11.3, 14.5	0, 2.4, 4.8, 6.4, 7.2, 9.7, 12.1, 12.9, 14.5, 16.1	20, 40, 80, 150	3

Були також проведені ручні перевірки, щоб перевірити точність програмного забезпечення аналізу зображень, розробленого для цього дослідження. Перша програма програмного забезпечення була розроблена для запису реакції симуляції посіву в реальному часі за допомогою

високошвидкісних зображень, вимірювань швидкості насінневої трубки та електродвигуна, а друга програма аналізу була розроблена для аналізу записаних даних і зображень.

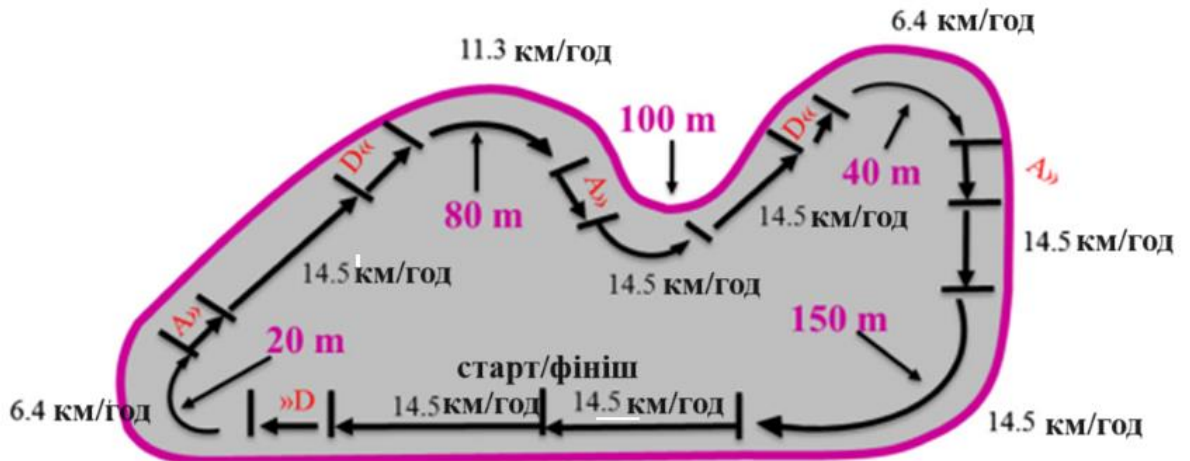


Рис. 4 - Моделювання під час контурного посіву зі змінними радіусами



Рис. 5 - Потік даних від камери та системи DAS до комп'ютера

Дві частини програмного забезпечення включають:

Частина 1: сигнал сівалки для живлення електродвигунів, ініціювання високошвидкісної зйомки зображення камерою та отримання даних

насіннєві трубки та швидкість електродвигуна через DAS, імітація швидкостей радара посіву через DAS до головного контролера сівалки, завершує повну симуляцію посіву, дезактивація захоплення зображення високошвидкісною камерою та збереження даних насіннепроводу та частоту обертів двигуна висівного пристрою, запис усіх зображення та дані відповіді сівалки з комп'ютера на жорсткий диск.

Частина 2: завантаження зображень для кожного тесту в програмне забезпечення обробки зображень, розроблене в LabVIEW, обробка кожного зображення за допомогою високошвидкісного алгоритму пакетної обробки зображень (рис. 8), порівняння записаної відповіді обертів двигуна, лічильника насіння та дані датчика насіннєвої трубки з результатами пакетної обробки, визначення поведінки швидкості оператора, яка спричиняє промахи та багаторазові випадки.

Як описано вище, алгоритми аналізу зображень використовувалися для визначення наявності чи відсутності насіння. За допомогою алгоритму аналізу зображень насіння було ідентифіковано за місцем розташування, кольором, формою та траєкторією шляху. Розташування є першою стратегією ідентифікації насіння (рис. 8А).



А



В

Рис. 6 - Висівний диск для кукурудзи з візуальними індикаторами щілин (А) і високошвидкісною камерою (В)

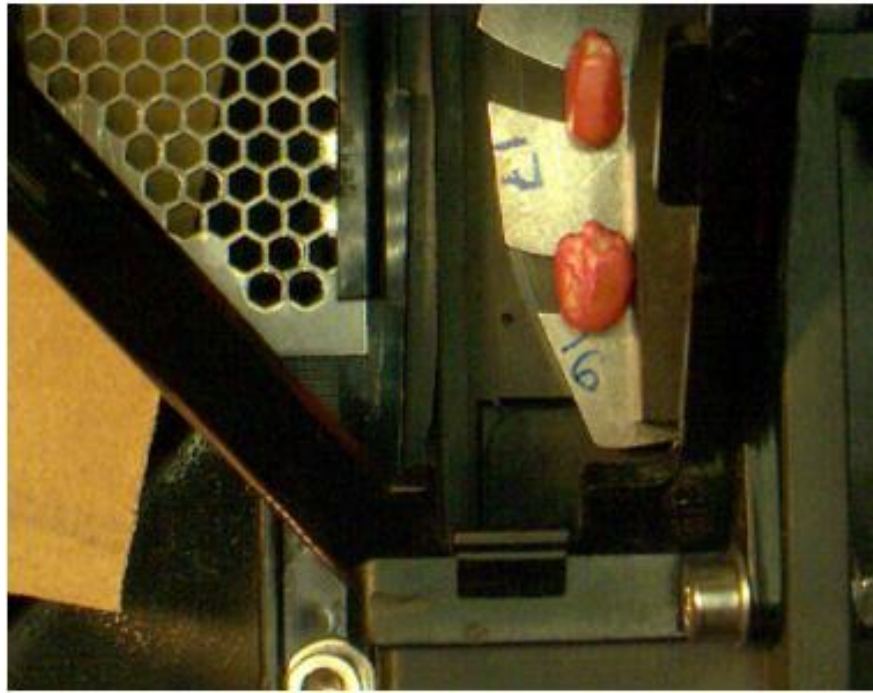


Рис. 7 - Поле огляду камери, що показує висівний диск, місце розташування насіння та візуальні індикатори насінневих отворів через дверцята доступу

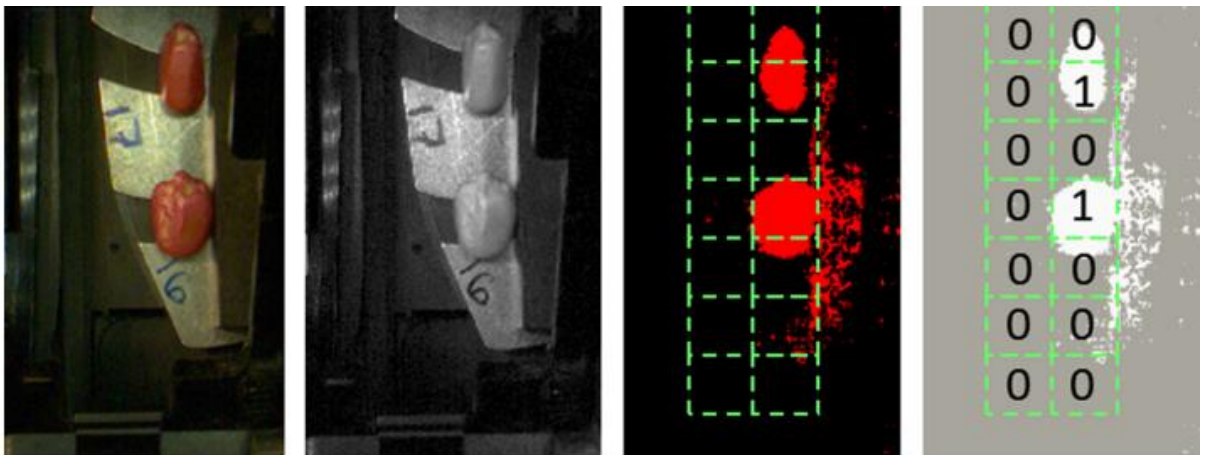


Рис. 8 - Ідентифікація насінневого коду на основі розташування (А), ізоляція на основі кольору (В), двійкова початкова матриця (С) і логіка виявлення насінневого матеріалу з використанням порогових значень на основі користувача (D)

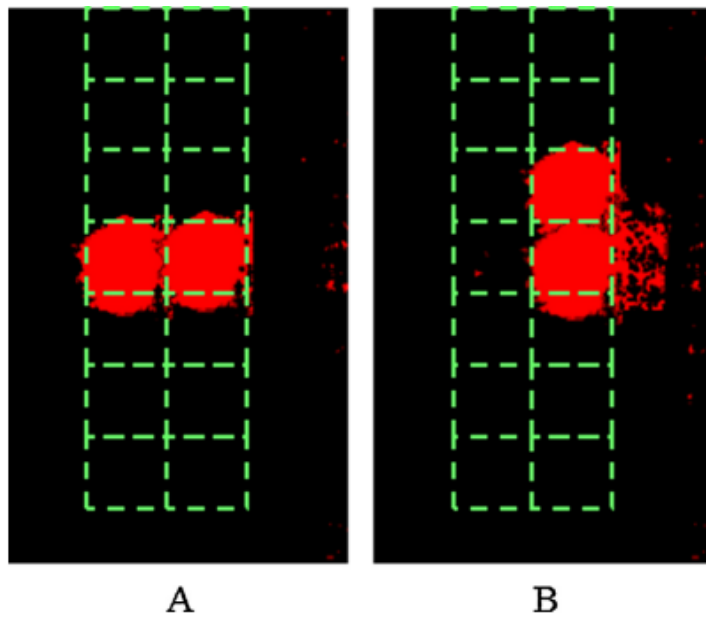


Рис. 9 - Змодельоване зображення радіального (А) та осьового (В) подвійного зерна

Кольорові смуги насіння використовували для виділення насіння кукурудзи від фону за допомогою спеціальної комбінації кольорових смуг, таких як червоний, зелений і синій, для вилучення насіння (рис. 8В). Ця комбінація кольорових смуг видалила фон і витягла лише кольори, пов'язані з конкретним насінням. Області інтересу (ROI) були створені в межах зображення на основі конкретної траєкторії посівної пластини (рис. 8С).

Щоб додати рівень захисту від помилок, була розроблена матриця ідентифікації насіння 2×7 з використанням двійкової логіки для ідентифікації присутності насіння на основі розташування (рис. 8D). У застосуванні форма та розмір насіння неоднакові і відрізняються в середньому мішку насіння кукурудзи.

У результаті середню форму та розмір насіння було виміряно шляхом пропускання зразка з 2500 насінин та використання високошвидкісної системи зображення (HSIS). Отриману середню форму та розмір насіння використовували для ідентифікації на основі форми та розміру об'єкта, що проходить через ROI початкової матриці. Програмне забезпечення для аналізу зображень змогло звести нанівець вплив на форму та орієнтацію

насіння кукурудзи. Орієнтація плоского насіння кукурудзи виглядала б меншою у двовимірній площині.

У результаті поріг форми було встановлено на 66% від середнього розміру насіння для виявлення насіння кукурудзи незалежно від форми, розміру та орієнтації насіння. Подальша обробка зображення потім перетворила цілі, що залишилися, у бінарне зображення, де 1 представляв колір, форму та розмір, пов'язаний із наявністю насіння, а 0 представляв сегментований фон.

ROI початкової матриці використовувало попереднє розташування насіння та траєкторію, щоб зрозуміти, чи вийшло насіння. Траєкторію насіння використовували, щоб передбачити та зрозуміти, де має бути присутнім насіння, і підтвердити поточне розташування насіння в полі зору камери. Порогові значення вручну було встановлено для створення логічних бар'єрів для наявності насіння. Порогові значення розміру було встановлено, тому що екземпляри існували б, коли початкові елементи входили б у задану ROI матриці вихідних даних і виходили з них. Якщо одне зерно було підраховано у двох ROI, множинне значення буде записано неточно. Як наслідок, потрібна була конкретна форма та розмір у ROI, перш ніж насіння буде повідомлена як наявна.

Як зазначалося раніше, було необхідно більше 66% середнього розміру насіння, перш ніж насіння було визнано присутнім у ROI. Було встановлено, що цей рівень захисту від помилок обмежує помилки аналізу посіву, як виявлено під час перегляду програмного забезпечення та подальшого тестування. У той час як початкова матриця ROI (рис. 8C) використовувалася для ідентифікації присутності одного зерна та кількох зерен (подвійних і потрійних), вторинна матриця ROI була створена для ідентифікації наявності щілини. Алгоритм ідентифікації слотів ідентифікував початковий слот на основі розташування, форми, кольору та траєкторії.

ROI слот-матриці було накладено безпосередньо на ROI початкової матриці. У результаті наявність слота без присутності початкового числа повідомлено як промах або пропуск. Форма і траєкторія початкових щілин були ключовими ідентифікаторами промахів, оскільки початкові щілини мали однаковий розмір і мали узгоджені траєкторії між зображеннями. Для розрахунку обертів на хвилину диска використовували інерцію між зображеннями. Переміщення посівної пластини між зображеннями вимірювали між проміжками часу зображення, щоб зрозуміти, коли сівалка була включена. Оскільки зображення були з частотою 300 Гц, час між виходом із слотів насіння/період часу розраховував би частоту обертів одиничного вимірювача насіння. Це число обертів було перевірено на бортові цифрові поворотні енкодери, встановлені на висівній одиниці, що розподіляє двигуни висівного апарата.

Щоб обчислити точність посіву, було виявлено подвійний множник посіву, коли дві насінини були присутні в ROI матриці посіву. У результаті двійників було виявлено, коли дві насінини були кластеризовані радіально або аксіально до обертання насіннєвого диска (рис. 9). Потрійне множинне насіння було виявлено, коли три насінини були присутні в ROI матриці насіння. У результаті було виявлено трійник, коли три насінини були скупчені радіально або аксіально відносно обертання висівного диска (рис. 10).

У цьому дослідженні сівалка має багаторазовий елімінатор, розроблений для зменшення ймовірності подвійного або потрійного посіву. Розрахунки, такі як частота обертів двигуна висівного апарату, були перевірені на цифрові кодери, встановлені на двигунах висівних агрегатів. Подібним чином програмне забезпечення HSIS автоматично визначило відсоток сингуляційної відповіді рядка, який було перевірено вручну за допомогою повільного відтворення зображень

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Завдяки поєднанню функціональних можливостей програми HSIS із DAS та інтегрованими датчиками сівалки помилки лічильника виділення насіння порівнювалися зі станами сівалки в режимі реального часу, щоб отримати подальше розуміння того, чи впливають стани сівалки на помилки лічильника висіву насіння шляхом розрахунку відсотка висіву, використовуючи рівняння:

$$\frac{(s-m-d-t)*100}{s} = Y (\%) \quad (1)$$

де: s – кількість щілин висівного диска (21 було використано в цьому дослідженні), m – кількість пропусків, d – кількість двійників, t – кількість трійників, Y – сингуляція.

HSIS проаналізувала помилки заповнення, посилаючись на миттєві стани машини.

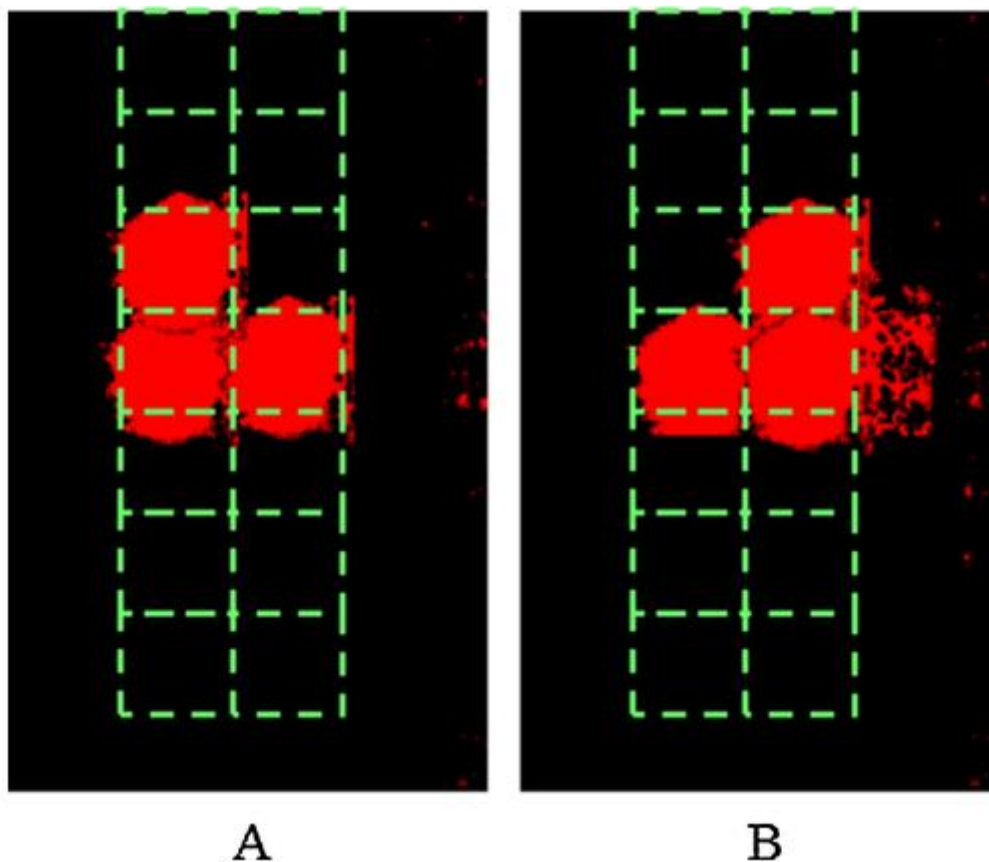


Рис. 10 - Змодельоване зображення радіального (А) та осьового (В) потрійного зерна

Наприклад, результати одного випробування (випробування 13) наведені в таблицях 3 і 4. Результати були накладені на одновимірну криву швидкості, щоб проілюструвати, де виникли помилки висіву (рис. 11).

Під час моделювання результати показують, що пропуски висіву відбувалися після початку розвороту, зміни швидкості та відбувалися частіше на вищій швидкості сівалки. Хоча ці візуалізації свідчать про значну кількість випадків помилки, результати сингуляції показали, що середній відсоток сингуляції становив 99,05% (таблиця 3).

Таблиця 3 - Приклад відповіді вимірювання з тесту 13

Тест	Поч. швидкість	Пост. швидкість, км/год	Популяція	Приск./спов.	Насинини	Пропуски	Двійники	Трійники	Сингуляція
13	0	9.7	89.110	Швидко	1252	10	2	0	99.1%

Таблиця 4 - Приклад станів машини з тесту 13.

Помилка	Зміни стану машини			км/год				
	Start/Stop	Прискорення	Уповільнення	2.4	4.8	7.2	9.7	12.1
Пропуски	1	1	0	0	0	2	6	0
Двійники	0	0	0	0	0	1	1	0
Трійники	0	0	0	0	0	0	0	0

Сучасні монітори/дисплеї сівалок надають користувачам загальний середній відсоток. Проте результати дослідження продемонстрували важливість розуміння того, які сценарії посіву, такі як динамічні зміни швидкості, статичні швидкості, контроль увімкнення та вимкнення сівалки під час поворотної смуги (також представляє автоматичне керування секціями), а також поведінка оператора створюють вищу ймовірність точності висіву.

Таблиця 5 - Продуктивність системи контролю висіву при
прямолинійному русі сівалки.

Тест	Старт. Швид- кість, км/год	Пост. Швид- кість, км/год	Попу- ляція	Приск. / Упов.	Насі- нин	Пропу- -ски	Двій- - ники	Сингу- -ляція, %
1	0,0	7,2	89,110	шв.	909	7	0	99,2
2	0,0	7,2	44,550	шв.	459	5	2	98,5
3	0,0	7,2	89,110	пов.	986	6	0	99,4
4	0,0	7,2	44,550	пов.	494	1	1	99,6
5	7,2	9,7	89,110	шв.	2076	29	2	98,5
6	7,2	9,7	44,550	шв.	1036	7	0	99,3
7	7,2	9,7	89,110	пов.	2113	39	0	98,2
8	7,2	9,7	44,550	пов.	1063	11	0	99,0
9	7,2	12,1	89,110	шв.	2449	58	0	97,7
10	7,2	12,1	44,550	шв.	1230	8	1	99,3
11	7,2	12,1	89,110	пов.	2599	24	0	99,1
12	7,2	12,1	44,550	пов.	1298	5	0	99,4
13	0,0	9,7	89,110	шв.	1252	6	0	99,5
14	0,0	9,7	44,550	шв.	611	13	0	97,9
15	0,0	9,7	89,110	пов.	1380	18	0	98,7
16	0,0	9,7	44,550	пов.	684	7	0	99,0
17	9,7	12,1	89,110	шв.	2581	42	0	98,4
18	9,7	12,1	44,550	шв.	1297	18	0	98,6
19	9,7	12,1	89,110	пов.	2685	53	0	98,1
20	9,7	12,1	44,550	пов.	1360	4	3	99,5
21	0,0	12,1	89,110	шв.	1540	57	0	96,4
22	0,0	12,1	44,550	шв.	802	5	0	99,4
23	0,0	12,1	89,110	пов.	1807	31	0	98,3
24	0,0	12,1	44,550	пов.	908	2	0	99,8
Сер. сингуляція								98.7

Результати випробувань у таблицях 5 і 6 показують сукупні результати поодиноких трьох повторень кожного окремого випробування з посіву під час прямолинійного руху (таблиця 5) і контурного криволінійного посіву (таблиця 6). Загалом, загальна відмінність між усіма тестами становила

98,45%. Під час тестування не спостерігалось потрійного множинного насіння.

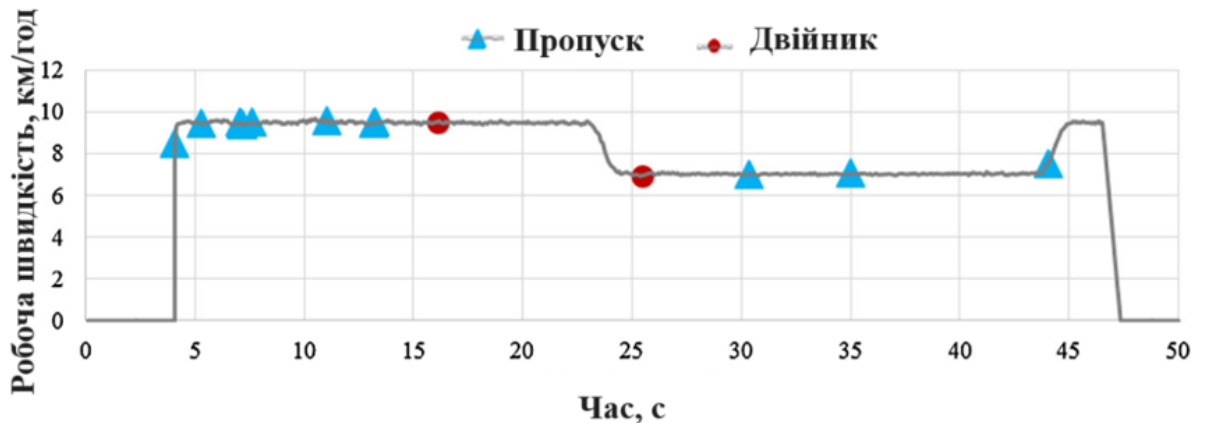


Рис. 11 - Візуальні похибки результатів посіву першого повторення тесту 13 під час імітаційних тестів для 89110 насінин/га. з швидким розгоном і уповільненням (4,8 км/с)

Таким чином, трійники не зазначаються в таблицях результатів. Крім того, спостерігалось 0,03 % випадків подвійного посіву. Відсутність потрійних і обмежені помилки подвійного висіву можуть бути здебільшого пов'язані з наявністю спеціальної гребінки та конструкцією висівного диска, розмір якої відповідає середньому розміру насіння. Загалом, збільшення похибок сингуляції, зокрема випадків пропусків, збільшувалося при вищих швидкостях посіву, прискоренні та уповільненні та рівнях популяції. Помилки висіву при високій швидкості посіву можуть бути наслідком недостатнього вакууму, підвищеної кутової швидкості механізму дозування при вищих обертах двигуна (швидкість електродвигуна при 16,1 км/год і 89110 насінин/га становила 84 об/хв) і розміром висівного диска.

Однак у майбутньому необхідно провести роботу, щоб оцінити точність сингуляції під час посіву на швидкостях понад 12,1 км/год. Для кожного тесту кількість насіння за хвилину розраховували на основі норми висіву за допомогою рівняння 2, для популяції 45550 насінин/га та 89110 насінин/га.

$$V * 1,525^{-4} * S * P = N \quad (2)$$

де: s - кількість щілин посівного диска (для цього дослідження $s = 21$)
 V - швидкість руху, км/год, N – висів насіння за хвилину, P – популяція, насіння/га.

Таблиця 6 - Продуктивність датчака висіву в режимі криволінійного руху машини.

Тест	Секція	Популяція	Нас.	Пропуски	Двійники	Сингуляція (%)
25	1	89,110	2811	80	1	97,2
26	1	44,550	1454	5	0	99,6
27	15	89,110	2471	97	0	96,2
28	15	44,550	1258	15	1	98,7
29	24	89,110	2594	103	1	96,1
30	24	44,550	1347	11	0	99,2
Сер. сингуляція						97.9

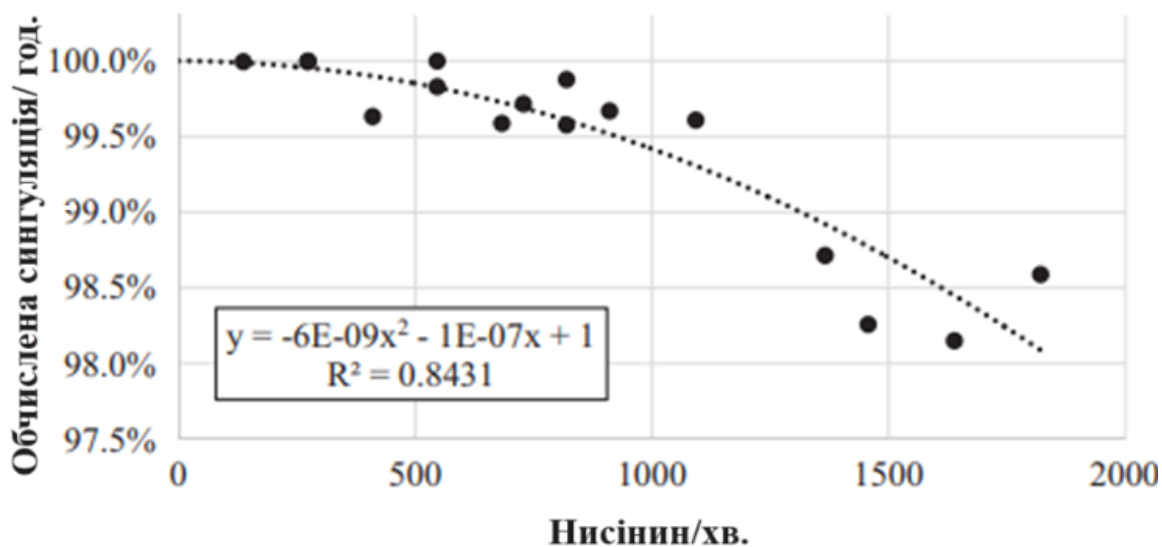


Рис. 12 - Відсоток сингуляції в залежності від кількості насінин висіяних за хвилину

Таблиця 7 Пропонована швидкість посіву на основі відсотка сингуляції та норми висіву.

Норма висіву, насінин/га	Робоча швидкість, км/год	
	99,0% сингуляція	99,5% сингуляція
44,550	22,2	14,8
59,410	16,7	11,1
74,260	13,4	8,9
89,110	11,1	7,4

За допомогою рівняння (2) і результатів в таблицях 5 і 6, співвідношення між насінинами за хвилину та відсотком сингуляції показано на рис. 12. Для цього вимірювача зі збільшенням кількості насінин за хвилину спостерігалось зниження відсотка сингуляції. Зокрема, посів зі швидкістю висіву понад 1250 насінин за хвилину знизив сингуляцію з 99,5% до 98,3% (рис. 12).

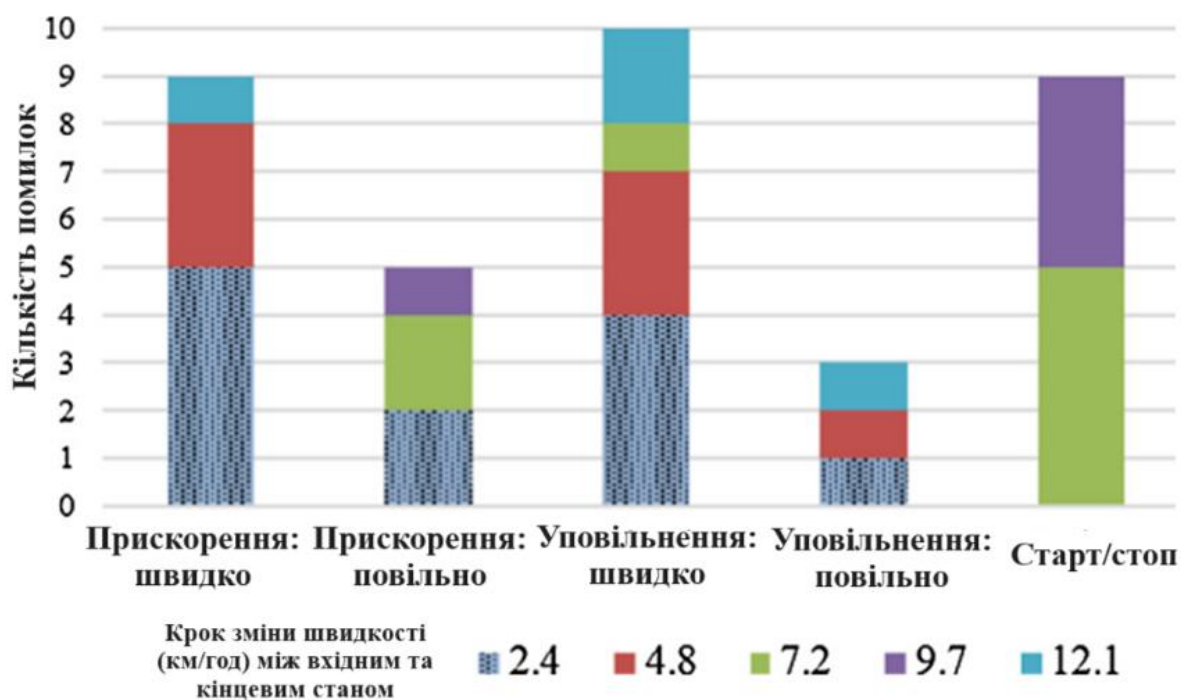


Рис. 13 - Помилки розрізнення старту/зупинки, прискорення та уповільнення між швидким (4,8 км/год/с) і повільним (2,4 км/год/с) прискоренням/уповільненням. Кожна категорія складається з кількості помилок на зміну швидкості

У програмі цільовий відсоток сингуляції залежатиме від виробника. Результати, показані на рис. 12, підкреслюють, що швидкість посіву можна рекомендувати на основі норми висіву (популяції) і прийнятної точності розподілу насіння, обраної оператором (табл. 7). У застосуванні оператор вибирає прийнятний відсоток розподілу, коли система керування машиною автоматично вибирає та підтримує швидкість висіву секції для підтримки цього бажаного розподілу. Оскільки швидкість дозування базується на поповненні та швидкості руху сівалки, точність висіву може бути

використана для керування швидкістю руху трактора, щоб обмежити швидкість руху висівного апарату. DAS та HSIS зафіксували продуктивність лічильника насіння при симуляції посіву, використовуючи типові для оператора машини дії.

Таблиця 8 Ефективність дозування насіння окремо під час сівби в стані машини на розвороті.

Тест	Облік насіння			Облік слотів			Сингуляція, %		
	(HSIS)	(DAS)	Різн.,%	(HSIS)	(DAS)	Різн.,%	(HSIS)	(DAS)	Різн.,%
Test 1	909	918	0.99	916	902	1.53	99.2	98.3	0.99
Test 2	459	461	0.44	464	458	1.29	98.5	99.4	0.87
Test3	986	992	0.61	992	976	1.61	99.4	98.4	1.01
Test 4	494	496	0.40	495	489	1.21	99.6	98.6	1.01
TestS	2076	2104	1.35	2105	2063	2.00	98.5	98.1	0.48
Test 6	1036	1031	0.47	1043	1024	1.82	99.3	99.4	0.06
Test 7	2113	2165	2.46	2152	2131	1.01	98.2	98.4	0.24
Test 8	1063	1071	0.75	1074	1067	0.60	99.0	99.7	0.65
Test 9	2449	2477	1.15	2507	2427	3.21	97.7	98.0	0.27
Test 10	1230	1239	0.76	1238	1244	0.45	99.3	100.0	1.10
Test 11	2599	2635	1.39	2623	2578	1.71	99.1	97.8	1.25
Test 12	1298	1305	0.57	1306	1309	0.22	99.4	100.0	0.90
Test 13	1252	1260	0.64	1258	1235	1.80	99.5	98.1	1.48
Test 14	611	629	2.94	624	620	0.72	97.9	98.5	0.59
Test 15	1380	1401	1.50	1398	1376	1.56	98.7	98.2	0.50
Test 16	684	698	2.11	691	693	0.32	99.0	99.3	0.27
Test 17	2581	2646	2.52	2623	2578	1.72	98.4	97.4	0.96
Test 18	1297	1329	2.49	1315	1313	0.13	98.6	98.8	0.17
Test 19	2685	2742	2.12	2738	2668	2.53	98.1	97.3	0.75
Test 20	1360	1366	0.45	1363	1348	1.12	99.5	98.7	0.78
Test 21	1540	1546	0.38	1597	1521	4.78	96.4	98.4	2.04
Test 22	802	810	0.92	807	798	1.10	99.4	98.6	0.86
Test 23	1807	1842	1.93	1838	1793	2.46	98.3	97.3	0.99
Test 24	908	918	1.13	910	919	0.99	99.8	100.0	0.30
	Сер.		1.27	Сер.		1.50	Сер.		0.77

Аналіз показав, що поведінка оператора під час конкретних сценаріїв посіву може вплинути на точність посіву шляхом зменшення відсотка сингуляції (рис. 13). На підставі отриманих результатів спостерігалось збільшення кількості пропусків для роботи сівалки по поворотній смузі, коли система керування сівалкою сигналізувала висівним агрегатам миттєво вимкнути та увімкнути апарат. Однак слід зазначити, що не було випадків зміни швидкості на 2,4 км/год і 4,8 км/год, призначених для сценаріїв старту

та зупинки. Це могло бути пов'язано з динамічною реакцією двигуна висівного апарату на сигнал швидкості, який вимагав, щоб рядкові двигуни почали обертатися з вимкненого стану до цільових обертів на хвилину.

Крім того, результати показали, що більші помилки сингуляції відбуваються при швидкому прискоренні та уповільненні при зміні різних швидкостей висіву. Під час уповільнення та прискорення швидкі зміни швидкості (4,8 км/год) призвели до майже вдвічі більшої кількості помилок, ніж повільні зміни швидкості (2,4 км/год/с). Для кожного стовпця на рис. 13 кількість помилок сегментовано, щоб відобразити зміну швидкості, через яку стався пропуск або двійник. Оскільки одиничний висівний дозатор запускався та зупинявся, виникало більше помилок, коли сівалка отримувала команду сіяти на вищих швидкостях.

Під час швидкої та повільної зміни швидкості виникало більше помилок, коли сівалка прискорювалася та сповільнювалася між швидкостями посіву 2,4 та 4,8 км/год, ніж при більших змінах швидкості. Однак це може бути тому, що більша частка сценаріїв посіву складається зі змін швидкості між 2,4 і 4,8 км/год, ніж зі змінами швидкості на 7,2, 9,7 та 12,1 км/год. У застосуванні ці результати показують, що навіть невеликі зміни швидкості викликають сингуляційні помилки.

Незалежно від ступеня зміни швидкості або прискорення чи уповільнення норми висіву, продуктивність одноразового висівного апарату зазнавала впливу через зміну станів машини, де може знадобитися подальше конструкційне рішення для подальшого підвищення ефективності цієї сівалки для змінної норми висіву. Хоча цих станів машини неможливо уникнути, було виявлено, що повільне прискорення та уповільнення мінімізує помилку сингуляції.

Оскільки певну кількість тестів з моделювання, отриманих за допомогою HSIS, було перевірено вручну, точність вимірювання DAS порівнювали з результатами HSIS, щоб оцінити ефективність вимірювань DAS. Кількість насіння, кількість щілин (слотів) і відсоток сингуляції

порівнювали між кожним повторенням тесту (Таблиця 8). Виходячи з різниці у вимірюваннях кількості насіння, точність вимірювання DAS за допомогою комерційного датчика насінневої трубки знаходиться в межах $1,3 \pm 0,3\%$ від вимірювань кількості насіння HSIS.

Виходячи з різниці в кількості слотів між тестами, точність вимірювання DAS цифрового кодера виявила щілини висівного диску в межах $1,5 \pm 0,4\%$ від результатів програмного забезпечення HSIS. Нарешті, програма DAS виміряла відсоток сингуляції з точністю вимірювання $0,8 \pm 0,2\%$ у межах вимірювання HSIS. Відповідь лічильника одиничного насіння між вимірюваннями DAS та HSIS показала низьку варіацію кількості насіння та щілин (Таблиця 8). Низька варіація, що спостерігається між кожним повторенням тесту, підтверджує здатність сівалки постійно й точно контролювати сигнал швидкості та відповідь увімкнення/вимкнення висівного апарату.

Що ще важливіше, методологію, що використовує дані датчика насіннепроводу, можна використовувати для запису розподілу насіння в режимі реального часу разом із станом посіву для розробки інтерактивного зворотного зв'язку для користувача в реальному часі щодо оптимальних умов посіву та роботи, за яких можна досягти цільового розподілу.

З іншого боку, виробники можуть використовувати знання розподілу насіння та стану посіву, щоб миттєво регулювати такі параметри машини, як вакуум, або запропонувати альтернативні пропозиції щодо впровадження інших технологій для покращення розподілу насіння під час роботи в полі в режимі реального часу. Виділена інформація разом із станом посіву може бути надійним набором даних для розуміння продуктивності вимірювача висіву та виявлення прогалин у майбутній розробці продукції.

Точність вимірювання здатності розробленого програмного забезпечення DAS та HSIS виявляти помилки посіву показало, що розроблений HSIS може оцінити точність висіву на основі станів сівалки, щоб надати важливі знання як виробникам, так і кінцевим користувачам.

Кінцеві користувачі можуть використовувати результати цього дослідження, щоб зрозуміти точність розподільного висівного апарата, щоб змінити поведінку оператора, наприклад прискорення та уповільнення під час поворотів на смузі та посів на швидкості, що призводить до вищого рівня відсоткового розподілу. У майбутніх випробуваннях збільшені кутові швидкості окремих висівних дозаторів також впливають на швидкість, з якою насіння потрапляє в насінневу трубку. Майбутні дослідження можуть знадобитися, щоб зрозуміти реакцію збільшення швидкості на переміщення та розміщення насіння. Крім того, виробники можуть використовувати HSIS для аналізу вдосконалень конструкції одиничних висівних лічильників (таких як налаштування або автоматичне керування системою контролю вакууму для утримування насіння, конструкцією висівної пластини та скребковими механізмами для зменшення множин) і рекомендувати швидкості посіву, які призводять до вищої точності висіву.

ВИСНОВКИ

Високошвидкісна система візуалізації (HSIS) була об'єднана з інтегрованою системою моніторингу сівалки для аналізу реакції висіву та дослідження станів сівалки, які впливають на точність висіву, наприклад постійні швидкості сівалки, швидкі та повільні зміни швидкості, зміни швидкості під час сигналізації вимірювача висіву про ввімкнення після зупинки (подібно до повороту на поворотній смузі) і з поступовими прискореннями/уповільненнями та норму висіву.

Вимірювання DAS з використанням комерційної насінневої трубки та вимірювання цифрового кодера досягли точності вимірювання в межах $1,3 \pm 0,3\%$ і $1,5 \pm 0,4\%$ вимірювань HSIS відповідно. У результаті відсоткова різниця між точністю вимірювань DAS і HSIS склала $0,8 \pm 0,2\%$. Результати показали збільшення помилок вимірювання одиничного висіву, коли сівалка отримувала сигнал про посів з цільовою швидкістю посіву без поступового прискорення або уповільнення.

Крім того, помилки сингуляції зросли майже вдвічі при швидких змінах швидкості (4,8 км/год/с) порівняно з повільними (2,4 км/год/с). Нарешті, висів зі швидкістю висіву вище 1250 насінин за хвилину призводив до помітного збільшення помилок висіву.

За цими результатами можна було б рекомендувати оператору трактора швидкість висіву на основі норми висіву (популяції) і прийнятної точності розподілу. Наприклад, для сівалки, яку оцінювали в цьому дослідженні, оператор хотів би сіяти зі швидкістю, що відповідає нормі висіву, щоб обмежити одиничний висівний лічильник до 1250 насінин за хвилину з повільними змінами швидкості для максимальної точності та точності сівалки.

У цьому дослідженні стверджується, що ізольована саджальна машина спричинила неточності посіву через поведінку оператора, наприклад повільне прискорення та уповільнення під час поворотів на смузі

та сівба на швидкостях, які призводять до вищого рівня відсотка сингуляції. Слід розглянути майбутні дослідження з використанням розробленої HSIS для подальшого вивчення точності висіву з різними конструкціями висівних дисків дозувальних апаратів, різними культурами та відповідними висівними дисками, а також зрозуміти точність висіву сівалки під час роботи в реальних польових умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Схожість насіння як один із важливих показників [Електронний ресурс] // syngenta.ua. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.syngenta.ua/news/novini-kompaniyi/shozhist-nasinnya-yak-odin-iz-vazhlyvih-pokaznykiv>.
2. Чому необхідно перевіряти схожість насіння перед посівом [Електронний ресурс] // Головне управління Держпродспоживслужби в Черкаській області. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/hromadianam/upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/novyny-upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/1965-chomu-neobkhidno-pereviriaty-skhozhist-nasinnia-pered-posivom>.
3. Полторецький С. П. Оцінка залежності врожайності і показників якості насіння проса залежно від строку та способу сівби / С. П. Полторецький, Н. М. Полторецька. // ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії. – 2019. – №4. – С. 29–31.
4. Радіонов Д. Якість висіву соняшнику 94%, або Tempo F — сівалка, яку потрібно розуміти [Електронний ресурс] / Д. Радіонов // Агробізнес сьогодні. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://agrobusiness.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/11904-yakist-vysivu-sonyashnyku-94protsent-abo-tempo-f-sivalka-iaku-potribno-rozumity.html>.
5. Котигора О. Вплив строків та норм висіву на урожайність соняшника [Електронний ресурс] / О. Котигора // СуперАгроном. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://superagronom.com/articles/484-oleksandr-kotigora-vpliv-strokov-ta-norm-visivu-na-urojajnist-sonyashnika>.
6. Сіяти соняшник зі змінною нормою чи ні? Результати дослідів на 50 полях [Електронний ресурс] // Агроном. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agronom.com.ua/siyaty-sonyashnyk-zi-zminnoyu-normoyu-chy-ni-rezultaty-doslidu-na-50-polyah/>.
7. Посів соняшнику на міжряддя 12,5 см [Електронний ресурс] // Агробізнес сьогодні. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://agrobusiness.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/11904-yakist-vysivu-sonyashnyku-94protsent-abo-tempo-f-sivalka-iaku-potribno-rozumity.html>.

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

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

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

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

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

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

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

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

15. Морозов І. Фактори ефективності сівалок [Електронний ресурс] / І. Морозов, М. Макаренко // Агробізнес Сьогодні. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1138-factory-efektyvnosti-sivalok.html>.
16. Васильченко В. Фактори, які визначають якість сівби [Електронний ресурс] / В. Васильченко, В. Опалко // Агроном. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agronom.com.ua/factory-yaki-vyznachayut-yakist-sivby/>.
17. Спосіб оцінки точності висіву [Електронний ресурс] / О.Банний, А. Новицький, С. Карабиньощ, Ю. Новицький // Пропозиція, № 5. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://propozitsiya.com/ua/sposib-ocinky-tochnosti-vysivu>.
18. Shannon D., Clay E., Kitchen N. (2018). Precision Agriculture Basics. American Society of Agronomy, Incorporated, 230p.
19. Jupp L. (2018). Precision Farming From Above. Writing Matters Publishing, 113 p.
20. Zubko V., Sirenko V., Kuzina T., Onychko V., Sokolik S., Roubik H., Koszelg M., Shchurh T. (2022) Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. Agricultural Engineering, Vol. 26 , No 1 , pp. 25-37 DOI: 10.2478/agriceng-2022-0003.
21. Delta Force [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.precisionplanting.com/products/product/deltaforce>.
22. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. Мельника В. І. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с.
23. Павлюк І. Вимоги охорони праці при проведенні посівних робіт [Електронний ресурс] / І. Павлюк // Охорона праці і пожежна безпека. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://oppb.com.ua/content/vymogy-ohorony-praci-pry-provedenni-posivnyh-robit>.

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

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

Додатки