

Допущено до захисту
 “ ____ ” _____ 20 ____ р.
 Зав. кафедри К.Т.Н., доцент
 (науковий ступінь, вчене звання)
 _____ **Андрій ВОЙТІК**
 (підпис) (ініціали, прізвище)

(освітній рівень)

тема роботи **«ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ПРОСАПНИХ СІВАЛОК З ДОФАЗНОЮ СОШНИКОВОЮ СИСТЕМОЮ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208
«Агроінженерія»
Чабанюк В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.е.н., доцент, Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Чабанюк В.С. Обґрунтування параметрів та режимів роботи просапних сівалок з дофазною сошниковою системою (Дипломна робота, Уманський національний університет садівництва, 2023: пояснювальна записка на 57 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 33 рисунки, 2 таблиці, 25 джерел літератури).

Однією з необхідних умов отримання високих урожаїв просапних культур, поряд із підготовкою ґрунту, догляду за посівами, є забезпечення розподілу насіннєвого матеріалу у відповідності до агровимог. Це сприяє забезпеченню рослин необхідною кількістю світла, вологи, тепла та поживними речовинами.

У дипломній роботі наведені дослідження, що мають на меті покращення показників якості сівби просапних культур в сучасних технологіях землеробства шляхом обґрунтування параметрів двофазної сошникової системи для просапних сівалок. Проведений аналіз існуючих способів і технічних засобів реалізації сівби просапних культур.

Метою дослідження є покращення показників якості сівби просапних культур в сучасних технологіях землеробства шляхом обґрунтування параметрів двофазної сошникової системи для просапних сівалок.

Об'єкт дослідження – технологічний процес двофазного способу заробки насіння просапних культур з формуванням клиноподібного насіннєвого ложе і доставкою насіння на задану глибину вдавлюванням.

Предмет дослідження – взаємозв'язок конструктивно-технологічних параметрів двофазної сошникової системи та показників якості проведення сівби просапних культур.

Ключові слова: СІВБА, СІВАЛКА, СОШНИК, ПРОСАПНІ КУЛЬТУРИ, УРОЖАЙ, ПІДГОТОВКА ҐРУНТУ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1. Агротехнічні вимоги до сівби просапних культур.....	9
1.2. Аналіз сучасного технічного забезпечення сівби просапних культур.....	11
1.3. Мета та завдання дослідження.....	21
Висновки по розділу.....	22
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОФАЗНОЇ СОШНИКОВОЇ СИСТЕМИ.....	23
2.1. Концепція реалізації високоякісної сівби просапних культур.....	23
2.2. Динаміка руху двофазної сошникової системи по нерівностях поверхні поля.....	26
2.3. Математична модель функціонування сошникової системи зі зміною положення вдавлюючого диска.....	31
Висновки по розділу.....	33
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СОШНИКОВОЇ СИСТЕМИ.....	35
3.1. Обладнання для забезпечення експериментальних досліджень.....	35
3.2. Перевірка основних параметрів виготовленої двофазної сошникової системи для сівби просапних культур.....	36
3.3. Дослідження характеру зміни твердості ґрунту на глибині заробки насіння.....	38
3.4. Порівняльні показники роботи експериментальної сошникової системи	42
Висновки по розділу.....	43
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	45
4.1. Організація умов та заходів з охорони праці в господарстві.....	45
4.2. Моделювання процесів виникнення травм при роботі із сівалкою.....	46
Висновки по розділу.....	47

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	48
Висновки по розділу.....	53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

ВСТУП

Головна умова отримання високих врожаїв просапних культур, поряд із підготовкою ґрунту, догляду за посівами, є забезпечення розподілу насіннєвого матеріалу у відповідності до агротехнічних вимог. Це сприяє забезпеченню рослинам необхідних умов росту та розвитку кореневої системи.

Забезпечити якість сівби на належному рівні – це не просте завдання, адже насіння, навіть однієї культури, відрізняється формою і розмірами, що впливає на якість їх розподілу по глибині та довжині рядка, а також на відхилення від прямолінійного розміщення. Нерівномірність розподілу насіння вимагає збільшення норми висіву для покращення формування густоти сходів, і призводить до збільшення його витрат. Якщо якість розподілу насіння по площі і стійкість заданої норми висіву головним чином залежить від конструкції висівного апарату та швидкості руху сівалки в полі, то стійкість глибини загортання насіння в значній мірі визначається якістю роботи сошникової системи сівалки.

Тому, обґрунтування раціональної конструкції і параметрів роботи сошникової системи для сівби просапних культур, що забезпечує двофазну заробку насіння, є актуальною проблемою сільськогосподарського виробництва.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сівба є однією з найважливіших операцій при вирощуванні просапних культур. Від якості, способу і термінів сівби залежить рівномірність та швидкість проростання, ріст і розвиток, а в кінцевому результаті і урожай. Особливо важливе значення відіграє якість сівби при переході до технологій точного землеробства.

Технологія точного землеробства ускладнює задачі сівби і вимагає чіткої реалізації змінних норм внесення насіннєвого матеріалу для забезпечення оптимальної площі живлення кожної окремої рослини. Кожна елементарна ділянка в межах одного поля відрізняється за продуктивною здатністю. При сівбі необхідно розподілити насіння відповідно до продуктивної здатності ділянки, забезпечити необхідними елементами живлення найбільш можливу кількість рослин [19].

1.1. Агротехнічні вимоги до сівби просапних культур

Машини для сівби просапних культур повинні виконувати розподіл і заробку насіння відповідно до вищезазначених вимог отримання рослинами оптимальної кількості світла, тепла, вологи і поживних речовин. Ці вимоги, головним чином, визначаються виходячи з картограм урожайності, вологості, забезпечення поживними речовинами, а також способу сівби.

Застосування того чи іншого способу сівби залежить від прийнятої технології при якій забезпечується максимальний урожай. При цьому метою є створення найбільш оптимальних умов для розвитку кожної рослини. Оптимальні умови, зокрема, залежать від площі живлення, яка в свою чергу залежить від розподілу насіння вздовж рядка, що являється однією із найважливіших вимог при сівбі просапних культур. Загальними вимогами до сівби також є точне дотримання заданої норми висіву насіння і добрив в

конкретній елементарній ділянці поля, загортання насіння на однакову глибину, рівновіддаленість рядків, забезпечення заданої ширини міжрядь і т. д..

При гніздовому і квадратно гніздовому способах сівби не менше ніж у 80% гнізд повинна знаходитись задана кількість насіння – одно, два або три. Гнізда повинні бути розміщені у вершинах квадратів або прямокутників. Допустиме відхилення центрів гнізд від осьових ліній повздовжніх рядків не повинно перевищувати ± 2 см, поперечних - ± 8 см. Допустиме відхилення стикових міжрядь не повинно перевищувати ± 5 см. [5].

При пунктирній сівбі кукурудзяними сівалками за агротехнічними вимогами сівалка повинна забезпечувати сівбу насіння просапних культур при ширині міжрядь 70 та 90 см, і кратних їм. Бурякові сівалки повинні забезпечувати сівбу насіння цукрового буряку, гречки, проса та деяких зернобобових культур з міжряддями 45 і 60 см. Допускається відхилення величини міжрядь від номінальної величини не більше ± 1 см. Для стикових міжрядь допускається відхилення ± 5 см. від заданої величини [9, 10].

Повинен забезпечуватись заданий картограмою розподіл насіння вздовж рядка. Допустиме відхилення від розрахункового інтервалу не повинно перевищувати $\pm 20\%$. При сівбі насіння цукрового буряку в заданому інтервалі з допустимим відхиленням повинно знаходитись 60% насіння. При роботі кукурудзяних сівалок в заданий інтервал ± 1 см повинно потрапити не менше ніж 90% насіння. Відхилення норми висіву насіння від заданої при сівбі просапних культур не повинно перевищувати 2...3%.

Для отримання дружних і повних сходів насіння загортають у ґрунт на таку глибину, при якій би воно було забезпечене оптимальною кількістю повітря, тепла та вологи. При неправильному загортанні насіння неминуче послаблення сходів та їх зрідженість. При сівбі буряковими сівалками насіння повинно укладатися на ущільнене дно борозенки із заданою глибиною та допустимим відхиленням ± 1 см., кукурудзяні сівалки повинні забезпечувати розкладання 95% насіння на задану глибину з відхиленням не більше $\pm 0,5$ см.

Висіане насіння повинно бути вкладене у вологий шар ґрунту, а ґрунт за сошником прикатаний.

Висівні апарати сівалок для просапних культур не повинні пошкоджувати насіння. Пошкодження насіння механічними висівними апаратами допускається не більше 1%, а пневматичними – не більше 0,5%.

Для отримання високих урожаїв в ґрунті повинні бути легкозасвоювані поживні речовини. Тому при сівбі насіння одночасно повинні висіватися мінеральні добрива. Мінеральні добрива повинні бути висіяні на 1...3 см. нижче, і збоку від розкладеного насіння не більше 5 см. Відхилення від заданої норми висіву добрива не повинні перевищувати 7% по масі.

Поле після проходу сівалки повинно бути вирівняним. Висота гребнів після посіву не повинна бути більшою 2 см.

Необхідно витримувати прямолінійність рядків. На 50 метрів довжини відхилення рядка від осі не повинно перевищувати 5 см.

Сівалки для просапних культур крім виконання якісної сівби повинні відповідати ще ряду технічних вимог. Однією із найбільш важливих із цих вимог слід відмітити те, що сівалки повинні мати робочі швидкості до 2,8 м/с. тобто високоякісна сівба повинна проводитись на високих поступальних швидкостях машино-тракторних агрегатів для забезпечення сівби в короткі агротехнічні строки 5...6 днів, а окремо взяте поле повинно засіватися за 1...2 дні [21].

1.2. Аналіз сучасного технічного забезпечення сівби просапних культур

Однією із основних вимог до сівби просапних культур, як було зазначено вище, є забезпечення необхідної площі живлення кожній окремо взятій рослині. Дану умову можна виконати при заданому розміщенні насіння вздовж рядка, що крім того, сприяє більш якісному догляду за посівами в процесі дозрівання культури. Не менш важливою вимогою є забезпечення рівномірності залягання насіння в ґрунті по глибині, і якісному висіву добрив. Ці та інші агровимоги в

основному і визначають конструкцію вітчизняних і зарубіжних посівних машин та їх робочих органів [9].

Для прикладу можна розглянути висівну секцію Pro-Series XP від John Deere (рис. 1.1), яка відображає сучасний напрямок розвитку засобів для сівби просапних культур. На сьогодні широкого розповсюдження набули дискові сошники, адже вони є менш вибагливі до якості підготовки площі, краще працюють на перезволожених та переущільнених ґрунтах. Такий сошник дає можливість наблизити міжосьову відстань центрів обертання опорних коліс до центрів обертання дисків, що позитивно впливає на глибину ходу останніх. Для забезпечення довантаження секцій «класичні» пружини ступінчастого регулювання притискного зусилля замінюють пневмо-, або гідроциліндрами. Для загортання борозни, як правило, застосовують катки, що додатково ущільнюють ґрунт навколо насіння і т. д. [10].



Рисунок 1.1 – Висівна секція Pro-Series XP від John Deere

Більшість сучасних сівалок обладнані засобами контролю і сигналізації роботи сівалки, проте, це не завжди дає можливість забезпечити якість сівби на високому рівні.

Конструктивні особливості сошників.

Питаннями покращення якості загортання насіння при сівбі займалися багато вітчизняних і зарубіжних дослідників та виробників сільськогосподарської техніки [23, 24].

Наприклад, компанія GASPARDO намагається забезпечити рівномірність глибини ходу сошника в ґрунті шляхом встановлення обмежувальних реборд в місці укладання насіння (рис. 1.2), що повинно гарантувати рівномірний обробіток поля навіть на ділянках з нерівною поверхнею. Різний діаметр обмежувачів визначає глибину висіву. Обмежувачі встановлюють із чавуну, для збільшення тиску, та із листової сталі, для зменшення тиску на ґрунт [11].



Рисунок 1.2 – Сошник сівалки Gigante виробника GASPARDO

VADERSTAD на сівалці Tempo застосовує так звану систему копіювання «Крокуючий» тандем (рис. 1.3). При наїзді одним опорним колесом на камінь, інше пропорційно опускається для зменшення підняття секції в два рази. Опорне колесо і висівний диск оснащені регульованими очищаючими дисками [14].

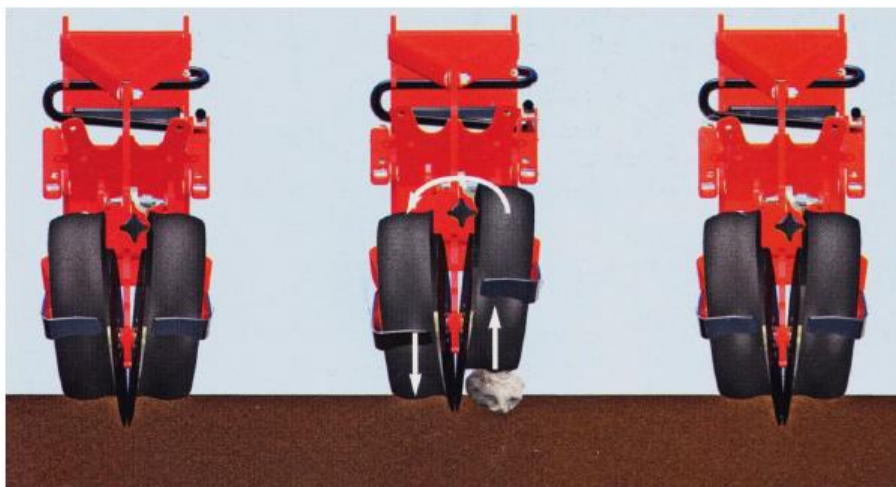


Рисунок 1.3 – Сошник сівалки Tempo виробника VADERSTAD

Такі кроки до вдосконалення сошникових систем дещо покращують якість утворення борозенки, проте не задовольняють сучасні вимоги в повній

мірі. Механізм із обмежувальними ребордами від GASPARDO вимагає значних затрат часу на зміну глибини заробки насіння за допомогою обмежувальних реборд. «Крокуючий» тандем від VADERSTAD при наїзді на перешкоду утворює насіннєве ложе глибиною, що у два рази менша висоти перешкоди. Це призводить до нерівномірності сходів.

Обладнання для притискання та прикочування насіння.

При падінні в борозну насіння зависає на різній висоті і недостатньо контактує з ґрунтом. Проростання відбувається хаотично. Паростки що відстали не можуть наздогнати «лідерів» і при цьому зменшується кількість урожаю.

Для притискання насіння до дна борозни відомий виробник Great Plains свої сівалки обладнує полозком Keeton Seed Firmer (рис. 1.4 а), на якому додатково можна закріпити трубку для внесення рідких добрив, або притискним колесом Seed-Lock (рис. 1.4 б) [12].

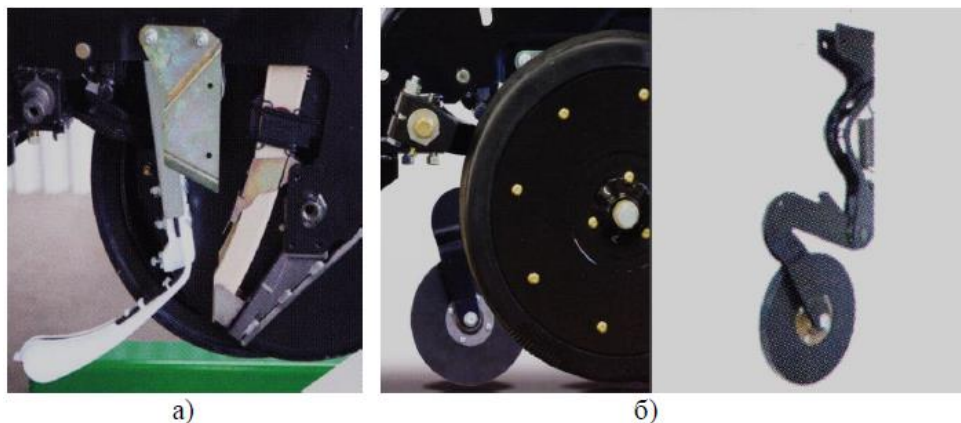


Рисунок 1.4 – Робочі органи для притискання насіння до дна борозни від виробника Great Plains: а –Keeton Seed Firmer; б – Seed-Lock

Подібні полозки Keeton Seed Firmer (рис. 1.5) використовує і компанія Precision Planting. Тонка полімерна направляюча простягається до дна борозни і притискає насіння, яке вилітає із насіннєвої трубки, до дна V-подібної борозни. Таким чином Keeton Seed Firmer покращує контакт насінини з ґрунтом (рис. 1.5) [16].

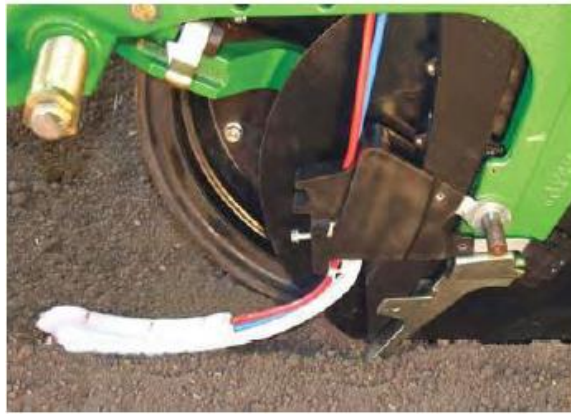


Рисунок 1.5 – Полозок Keeton Seed Firmer від «Precision Planting»



а)

б)

Рисунок 1.6 – Зображення насінини в борозні: а – до; б – після проходження полозка Keeton Seed Firmer від «Precision Planting»

Amazona на просапних сівалках EDX 9000-TC та EDX 6000-TC застосовує систему укладання насіння Xpress. Після дводискового сошника 1 (рис. 1.7) рухається полоз сошника 2, який утворює прямокутний профіль борозни. Насіння потрапляє в сформовану зону укладання і притискається катком 3, що розташований за полозом сошника, до дна борозни. Далі рухаються колеса, які закривають борозну і ущільнюють ґрунт [9].



а)

б)

Рисунок 1.7 – Сошник просапних сівалок Amazona EDX 9000-TC та EDX 6000-TC: а – вид ззаду; б – вид знизу

Для притискання насіння до дна борозни «HORSCH» на сівалках Maestro CC використовує каток «Trap roller» показано стрілкою (рис. 1.8) [10].



Рисунок 1.8 – Секція сівалки Maestro CC від «HORSCH»

З метою притиснути насіння до дна борозни подібними катками, тільки металевими, свої сівалки обладнує «PROSEM» і «MONOSEM».

«Kverneland» на сівалці Monopill SE застосовує притискний каток для роботи в парі із полозовидним сошником (рис. 1.9) [19].



Рисунок 1.9 – Секція сівалки Monopill SE від «Kverneland»

Недоліком таких конструктивних рішень є те, що вони створені для притискання насіння до дна борозни. Дно борозни, у більшості випадків, відрізняється від еквідистантної лінії щодо поверхні поля. Застосування металевих катків, крім того, тягне за собою травмування насіння під час сівби.

Важливим і відповідальним завданням під час сівби є загортання і ущільнення насінневого ложе. Для цього існує великий різновид робочих органів.

Great Plains застосовує V-подібні обгумовані катки (рис. 1.10, а), які працюють майже у всіх ґрунтових умовах. Клиновидні колеса зі скошеними краями (рис. 1.10, б), що легко закривають борозну на твердих ґрунтах завдяки гострим граням, або пальчасті колеса (рис. 1.10, в) – ефективні на будь-яких ґрунтах [20].

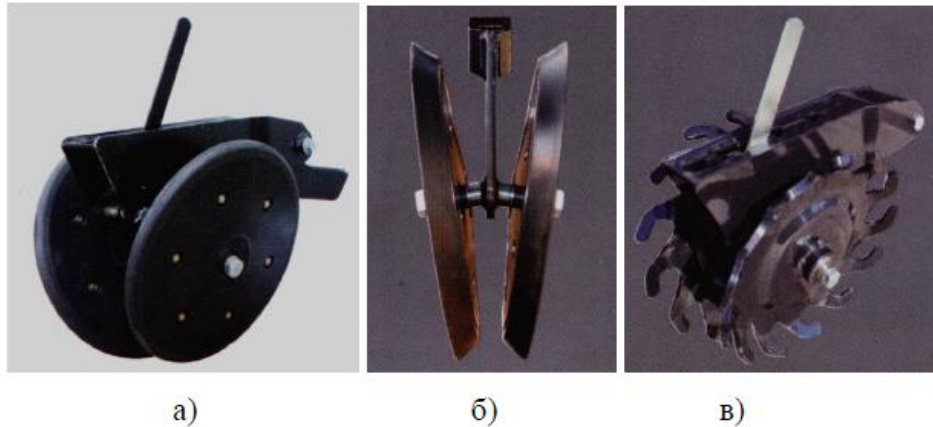


Рисунок 1.10 – Прикочувальні катки сівалок Great Plains:

а – V-подібні обгумовані; б – клиновидні; в – пальчасті

ВАТ «ТОДАК» пропонує пальцеві V- подібні (рис. 1.11, а) прикочувальні катки. Гумові пальці катка акцентовано притискають насіння до твердого насіннєвого ложе. Таким чином, за словами виробника, ґрунт навколо насінини ущільнюється, і завдяки своїй властивості гігроскопічності підтягує вологу із нижчих шарів. При застосуванні пальцевих катків практично відпадає необхідність в додатковій технологічній операції – прикочуванні. Завдяки розміщенню пальцевих катків під кутом один до одного, вони перетинаються тільки в нижній частині, в результаті чого здатні самоочищатися при роботі в перезволожених умовах, тоді як звичайні колісні катки просто залипають і не можуть застосовуватись [16].

Атмосферні V-подібні (рис. 1.11, б) прикочувальні катки можуть бути альтернативою пальцевим каткам при сівбі соняшника та кукурудзи, і необхідністю в умовах підвищеної кам'янистості ґрунтів [21].

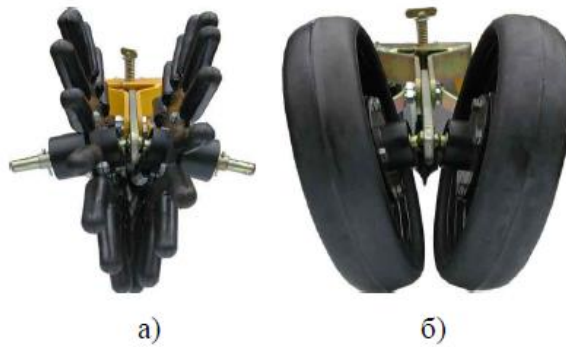


Рисунок 1.11 – Катки виробника ВАТ «ТОДАК»: а – пальцеві; б – атмосферні
«МОНОСЕМ» сівалку NC Classic комплектує металевими V-подібними катками (рис. 1.12, а), або гумовими «Farmflex» різної ширини (рис. 1.12, б) [23].

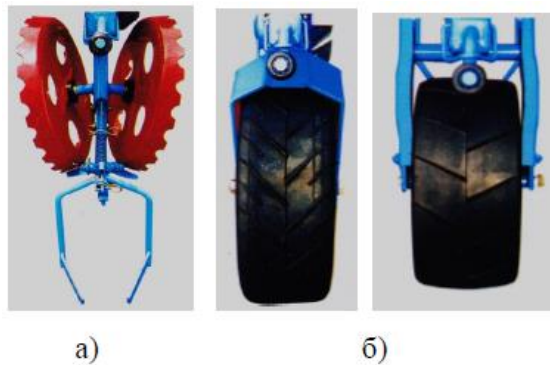


Рисунок 1.12 – Катки сівалки NC Classic від «МОНОСЕМ»:
а – металеві; б – гумові

Недоліком всіх вищенаведених катків є те, що в процесі руху не забезпечується регулювання притисного зусилля як реакції на зміну твердості ґрунту по довжині рядка. В результаті цього відбувається нерівномірне ущільнення ґрунту навколо насіння в межах одного поля і нерівномірність глибини загортання, що можна прослідкувати за етильованою частиною рослин (рис. 1.13) [2].



Рисунок 1.13 – Результат нерівномірної глибини загортання насіння

Недостатнє притискне зусилля призводить до того, що розвиток кореневої системи рослини відстає в часі. Ущільнення, яке виникає тоді, коли є надмірне притискне зусилля, що створюють механізми сівалки під час сівби, також спричиняє ряд негативних факторів:

- зменшення кількості рослин, що зійшли;
- збільшення стресу рослин та зниження розвитку листкової частини і рослини в цілому;
- неправильне проростання призводить до несвоєчасного запилення рослин в посушливі роки зі спекотним літом.

Засоби контролю та регулювання тиску посівної секції на ґрунт.

Для забезпечення необхідного заглиблення сошників в ґрунт використовують різного роду довантаження секцій. У найпростішому варіанті встановлюють пружини, що притискають секцію до поверхні ґрунту. Для забезпечення плавної зміни притискного зусилля пружини замінюють пневмо -, або гідроциліндрами.

Система Row-Pro (рис. 1.14) запропонована «Great Plains» окрім пружин містить пневматичний циліндр, що з'єднаний із паралельними важелями підвіски секції і керується через розподільник контролером. Датчик встановлений на опорному колесі сошника, визначає величину навантаження, після чого, відповідно, регулює тиск в циліндрі, для того, щоб вирівняти навантаження на сошник кожної окремої секції [25].

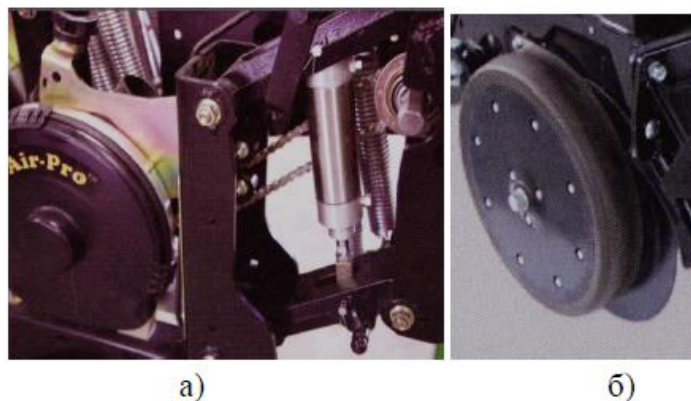


Рисунок 1.14 – Система Row-Pro: а – загальний вигляд паралелограма із встановленим пневмоциліндром; б – опорне колесо сошника

На відміну від «Great Plains», «Kinze» на деяких сівалках повністю відмовляється від пружин на користь пневмоциліндрів (рис. 1.15) [23].



Рисунок 1.15 – Пневмоциліндри довантаження секцій сівалки Kinze

На основі регулювання притискного зусилля за допомогою пневмоциліндрів двосторонньої дії працює система Air Force компанії Precision Planting. Комплекти таких пневмоциліндрів можуть бути встановлені на сівалки John Deere (рис. 1.16), Kinze, Wite або CaseIH. Контролер через датчик постійно вимірює вагу секції на опорних колесах, яка залежить від рівномірності глибини ходу дисків сошника, і регулює тиск в пневмоциліндрі для забезпечення усталеного показника ваги секції [22].



Рисунок 1.16 – Пневмоциліндри на паралелограмі секції сівалки John Deere

Для більш точного забезпечення заданої глибини ходу сошників компанія Precision Planting розробила систему Delta Force (рис. 1.17), яка працює за допомогою гідравліки трактора. Принцип роботи Delta Force полягає в тому, що тензо-датчики (рис. 1.17 а) встановлені на кожній секції сівалки таким чином, що вимірюють вагу секції на опорних колесах, яка буде зменшуватися при виглибленні сошника із ґрунту. Контролер порівнює значення ваги із заданим і керує гідроциліндрами через встановлені на них електророзподільники (рис.

1.17 б) які монтуються на кожну секцію замість пружин або пневмоциліндрів [23].



Рисунок 1.17 – Система Delta Force: а – тензо-датчик; б – гідроциліндр

Недоліком цих систем є те, що в процесі їх роботи відбувається контроль і регулювання рівномірності глибини ходу сошника а не кінцева глибина заробки насіння.

1.3. Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є покращення показників якості сівби просапних культур в сучасних технологіях землеробства шляхом обґрунтування параметрів двофазної сошникової системи для просапних сівалок.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих способів і засобів реалізації сівби просапних культур сошниковими сівалками;
- провести теоретичний аналіз процесу взаємодії робочих органів двофазної сошникової системи з ґрунтовим середовищем, як єдиної динамічної системи і розробити математичну модель руху запропонованої сошникової системи по нерівностях поверхні поля;
- провести експериментальні дослідження функціонування запропонованої сошникової системи;
- оцінити економічну ефективність впровадження результатів досліджень у виробництво.

Висновки по розділу

В даному розділі наведено агротехнічні вимоги щодо посіву просапних культур та здійснено аналіз існуючих способів і технічних засобів для реалізації сівби просапних культур сошниковими сівалками .

Також визначено мету та завдання досліджень дипломної роботи, відповідно якої визначити показники якості сівби просапних культур в сучасних технологіях землеробства шляхом обґрунтування параметрів двофазної сошникової системи для просапних сівалок.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОФАЗНОЇ СОШНИКОВОЇ СИСТЕМИ

2.1. Концепція реалізації високоякісної сівби просапних культур

Для реалізації двофазного способу заробки насіння запропонована двофазна сошниковая система (рис. 2.1), що складається із підвіски 1 обладнаної гвинтовим механізмом із пружиною 2 та копіювальним колесом 10, гряділя 3 на якому послідовно розміщені щілиноутворювач 9 із чистиком 8, напрямник насіння 7 із насіннєпроводом 4 та вдавлюючий диск 6 із чистиком 5 [1].

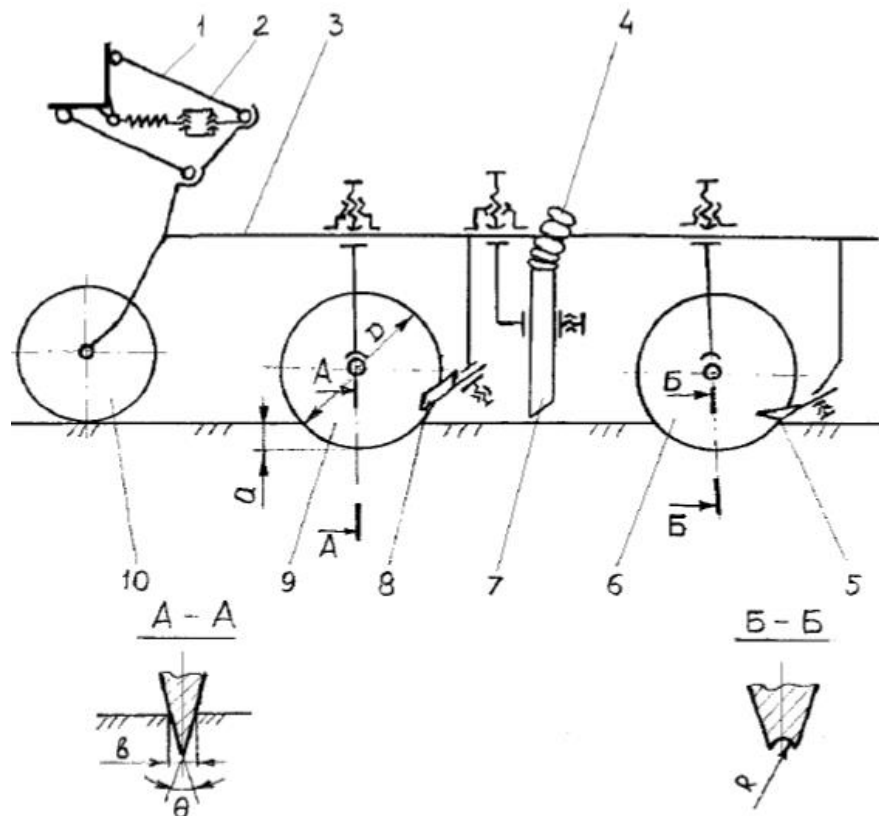


Рисунок 2.1 – Схема двофазної сошникової системи:

- 1 – підвіска; 2 – гвинтовий механізм з пружиною; 3 – гряділь; 4 – насіннєпровід;
 5,8 – чистик; 6 – вдавлюючий диск; 7 – напрямник насіння;
 9 – щілиноутворювач; 10 – копіювальне колесо

Робочі органи закріплені на гряділі із паралелограмним підвісом, що дає змогу здійснювати плоскопаралельне переміщення у вертикальній площині. Гвинтовий механізм і пружина підвіски забезпечують необхідну стійкість ходу робочих органів сошникової системи.

При переміщенні сошникової системи по полю щілиноутворювач формуює у ґрунті щілину конусного профілю, в яку по напрямнику потрапляє насіння і заклинюється. Кожна насінина фіксується без розкочування вздовж рядка і орієнтується по його осі. Вдавлюючий диск своїми робочими кромками зрізує ґрунт із бічних стінок щілини, присипає ним насіння і жолобом переміщує насінину з шаром ґрунту на задану глибину з одночасним ущільненням ложе.

Для забезпечення функціонування двофазної сошникової системи, її робочі органи необхідно пов'язати між собою певними геометричними параметрами.

Щілиноутворювач виготовлений у формі клиноподібного дискового ножа, який повинен забезпечити таку форму щілини на поверхні поля, щоб насіння вільно попадало в неї і заклинювалось ближче нижньої частини. Для забезпечення цього необхідно виконати умову:

$$b = 2a \times \tan \frac{\theta}{2}, \quad (2.1)$$

де b – ширина щілини у верхній частині (на поверхні ґрунту);

a – глибина щілини (обов'язково менша глибини заробки насіння);

θ – кут, що визначає конусність диска.

Для надійної фіксації насіння у щілині повинна бути виконана умова:

$$\frac{\theta}{2} < \varphi_1, \quad (2.2)$$

де φ_1 – кут тертя насіння по поверхні ґрунту.

Конусна частина диска повинна забезпечувати ширину щілини у верхній частині дещо більше максимальної довжини насінини. Висота конусної частини диска повинна відповідати максимальній глибині заробки насіння.

Вдавлюючий диск виготовлений з такого матеріалу і має таку конусність, що забезпечує мінімальні сили тертя ковзання його боковин об ґрунт. Обід диска виконаний у формі циліндричного жолобу (рис. 2.2), ширина якого – b_1 , забезпечує зрізання ґрунту зі стінок щілини та вдавлювання насіння на задану глибину. Кут, що визначає конусність диска $\gamma = 3-5^\circ$. Радіус жолоба R , такий,

що кут між дотичною, проведеною до жолоба в точці A перетину його зі стінкою диска і вертикаллю менший кута тертя φ , ґрунту по матеріалу диска, тобто $\alpha < \varphi$. За такої умови можливе заповнення жолоба ґрунтом завдяки чому виключається безпосередній контакт насінини з ободом вдавлюючого диска, тобто виключається травмування насіння.

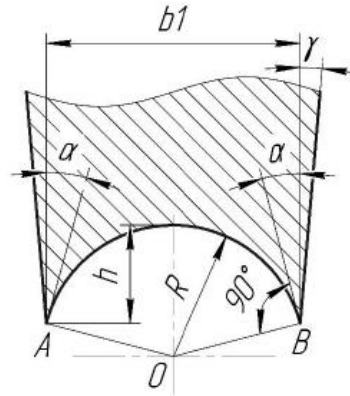


Рисунок 2.2 – Обґрунтування параметрів форми профілю вдавлюючого диска:
 b_1 – ширина циліндричного жолобу; γ – конусність диска; R – радіус жолоба;
 O – центр кривизни жолоба

Радіус і центр кривизни жолоба визначається графічно. Для цього з кінців відрізка AB проводяться дві вертикальні і дві похилі лінії під кутом α . До похилих ліній з точок A і B проводять перпендикуляри, і продовжують їх до перетину один з одним. Отримана точка O і визначає центр кривизни та величину радіуса R .

Жолоб вдавлюючого диска буде мати циліндричну форму, а його глибина h буде визначатися зі співвідношення:

$$h = R \times (1 - \sin \alpha) \quad (2.3)$$

Для подавання насіння у простір між послідовно розміщеними дисками встановлений напрямник насіння, що з'єднується з висівним апаратом сівалки насіннєпроводом. Величина перерізу напрямника забезпечує вільне проходження насіння без заклинювання та сповільнення. Зовнішній діаметр напрямника менший ширини щілиноутворювача в місці встановлення реборд при можливо мінімальній глибині щілини. Нижня частина насіннєпровода має косий зріз знизу до верху в напрямку руху агрегата для унеможливлення забивання його ґрунтом, а нижня кромка встановлюється нижче ходу нижньої

кромки обмежувальних реборд для уникнення потрапляння насіння мимо щілини. Крім того напрямник має можливість переміщуватись по вертикалі і горизонталі і фіксується двома стопорними болтами [3].

Для складання математичної моделі руху двофазної сошникової системи для сівби просапних культур побудуємо розрахункову схему функціонування системи при русі по нерівностях поверхні поля і в умовах діючих сил.

2.2. Динаміка руху двофазної сошникової системи по нерівностях поверхні поля

Для визначення характеру руху сошникової системи по нерівностях поверхні поля остання, у даному випадку, розглядається як самостійна динамічна система, що виконує малі коливання від свого початкового положення в межах переміщень, що їх допускає підвіска дисків сошникової системи [6].

Для аналізу параметричних співвідношень сошникової системи при русі її по нерівностях поверхні поля, складемо розрахункову схему механізованого аналога автоматизованої системи для двофазного способу заробки насіння (рис. 2.3). Функції копіювання нерівностей поля і коректора положення вдавлюючого диска виконує щілиноутворювач 1 з ребордами *reb* [18].

Віднесемо систему до декартової системи координат OXZ , що рухається прямолінійно із швидкістю V . Вертикальні переміщення центрів мас щілиноутворювача O_1' та вдавлюючого диска O_2' під час малих коливань радіальних поводків довкола установочних кутів β_1 та β_2 визначаються відповідно координатами z_1 та z_2 .

Зміни координат z_1 та z_2 обумовлені рухом щілиноутворювача та вдавлюючого диска по нерівностях h поверхні поля. Крім того, характер руху щілиноутворювача та вдавлюючого диска обумовлений відповідними складовими реакції ґрунту $R_{C_1}^x$, $R_{C_1}^z$ та $R_{C_2}^x$, $R_{C_2}^z$. Фізико-механічні властивості ґрунту враховані коефіцієнтами пружності c_3 та демпфування d_g . Силовий контур регулювання положення вдавлюючого диска замкнений пружиною з

коефіцієнтом жорсткості c_2 . Радіальна підвіска має у складі пружний елемент c_1 та демпфер з коефіцієнтом демпфування d_1 . Ланка lan виконує функції корекції положення вдавлюючого диска відносно щілиноутворювача. Завдяки цьому досягається синхронність копіювання нерівностей щілиноутворювачем та вдавлюючим диском, що знаходяться на відстані a один від одного.

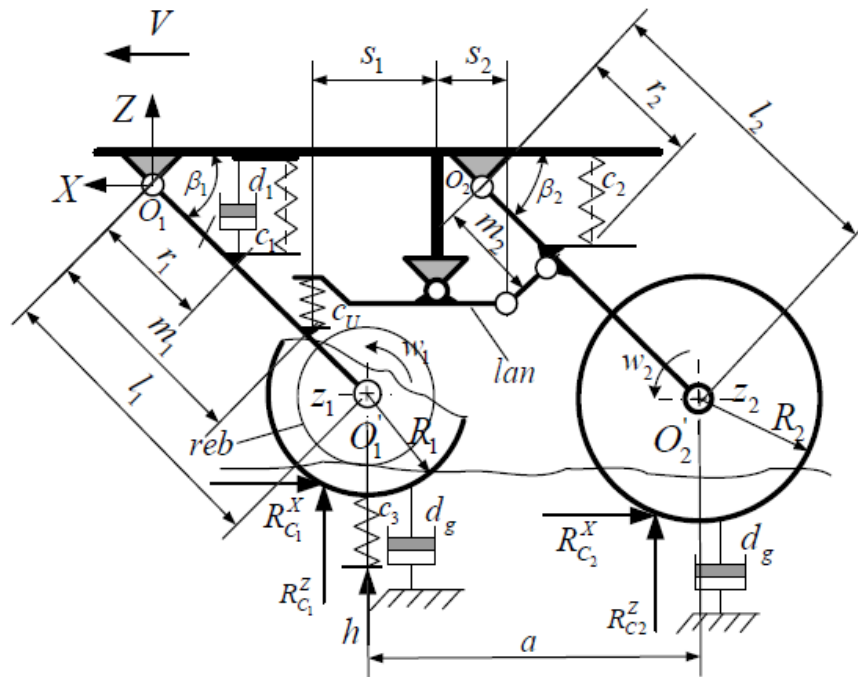


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема двофазної сошникової системи

Для складання рівнянь динаміки руху сошникової системи по нерівностям поверхні поля скористаємось рівняннями динаміки Лагранжа 2-го роду [7]:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = Q_{q_i}, \quad (2.4)$$

де T і Π – кінетична та потенціальна енергії;

Φ – дисипативна функція;

q_i – узагальнені координати;

Q_{q_i} – узагальнена сила.

При прийнятих припущеннях сошникова система є системою з двома ступенями свободи, що визначаються координатами z_1 та z_2 . Кінетична енергія системи складається з енергії поступального руху центрів мас O_1' та O_2' щілиноутворювача і вдавлюючого диска, а також варіацій кутових швидкостей їх обертання w_1 та w_2 :

$$T = \frac{1}{2} \left(M_1 (\dot{z}_1^2 + (\tan[\beta_1] \dot{z}_1)^2) + M_2 (\dot{z}_2^2 + (\tan[\beta_2] \dot{z}_2)^2) + I_1 w_1^2 + I_2 w_2^2 \right) \quad (2.5)$$

де M_1, M_2 – маса щілиноутворювача та вдавлюючого диска;

I_1, I_2 – момент інерції щілиноутворювача та вдавлюючого диска відносно осей їх обертання;

Δw_1 та Δw_2 – варіації швидкостей обертання щілиноутворювача та вдавлюючого диска, що обумовлені роботою радіальних підвісок при копіюванні нерівностей поверхні поля.

Варіації швидкостей w_1 та w_2 визначаються виразами:

$$\begin{aligned} w_1 &= \frac{\tan(\beta_1) \dot{z}_1}{R_1}; \\ w_2 &= \frac{\tan(\beta_2) \dot{z}_2}{R_2}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Після підстановки (2.6) у (2.5) маємо:

$$T = \frac{1}{2} \left(\frac{I_1 \tan^2[\beta_1] \dot{z}_1[t]^2}{R_1^2} + M_1 (\dot{z}_1[t]^2 + \tan^2[\beta_1] \dot{z}_1[t]^2) + \frac{I_2 \tan^2[\beta_2] \dot{z}_2[t]^2}{R_2^2} + M_2 (\dot{z}_2[t]^2 + \tan^2[\beta_2] \dot{z}_2[t]^2) \right) \quad (2.7)$$

Потенціальна енергія системи залежить від зміни положення центрів мас O_1' та O_2' щілиноутворювача та вдавлюючого диска, а також від деформації пружних елементів системи: натискних пружин щілиноутворювача та вдавлюючого диска і механізму корекції положення вдавлюючого диска. Потенціальна енергія системи має вигляд:

$$\Pi = M_1 g z_1 + M_2 g z_2 + \frac{1}{2} \left(c_1 \frac{r_1}{l_1} z_1^2 + c_2 \frac{r_2}{l_2} z_2^2 + c_U \Delta_U^2 + c_g (z_1 - h)^2 \right), \quad (2.8)$$

де c_U – коефіцієнт жорсткості механізму корекції положення вдавлюючого диска;

Δ_U – деформація пружини механізму корекції положення вдавлюючого диска.

Деформація Δ_U визначається з виразу:

$$\Delta_U = \left(z_1 \frac{m_1 s_2}{l_1(s_1 + s_2)} + z_2 \frac{m_2 s_1}{l_2(s_1 + s_2)} \right) \quad (2.9)$$

З урахуванням (2.9) будемо мати:

$$P = G_1 z_1(t) + G_2 z_2(t) + \frac{1}{2} \left(\frac{c_g (z_1(t) - h \sin(\omega t))^2}{l_1} + \frac{c_2 r_2 z_2(t)^2}{l_2} \right) + \frac{1}{2} c_U \left(\frac{m_1 s_2 z_1(t)}{l_1(s_1 + s_2)} + \frac{m_2 s_1 z_2(t)}{l_2(s_1 + s_2)} \right) \quad (2.10)$$

При коливаннях системи виникають дисипативні сили, які зменшують енергію коливань і призводять до їх затухання. Величина, що характеризує зменшення енергії коливань за одиницю часу називається функцією розсіювання, або дисипативною функцією. Дисипативна функція системи у даному випадку має вигляд:

$$\Phi = \frac{1}{2} \left(d_g (\dot{z}_1^2 + \dot{z}_2^2) + d_1 \frac{r_1}{l_1} \dot{z}_1^2 \right) \quad (2.11)$$

Часткова похідна по швидкостях координат z_1 та z_2 дає:

$$\Phi = \frac{1}{2} \left(\frac{d_1 r_1 \dot{z}_1[t]^2}{l_1} + d_g (\dot{z}_1[t]^2 + \dot{z}_2[t]^2) \right) \quad (2.12)$$

Узагальнені сили можуть бути визначені як коефіцієнти, отримані при розрахунку суми елементарних робіт сил, що діють на систему при переміщеннях, які викликані зміною узагальнених координат. Узагальнена сила, що відповідає координатам z_1 та z_2 буде дорівнювати, і відповідатиме коефіцієнтам при обчисленні робіт сил реакції ґрунту на щілиноутворювач та вдавлюючий диск:

$$Q = R_{C_1}^Z + R_{C_2}^Z + \tan(\beta_1) R_{C_1}^X + \tan(\beta_2) R_{C_2}^X \quad (2.13)$$

Так як кінетична енергія T не залежить від узагальненої координати, то складова $\frac{\partial T}{\partial q_i}$ для даного випадку буде:

$$\frac{\partial T}{\partial(z_1, z_2)} = 0 \quad (2.14)$$

Після підстановки (2.7), (2.10), (2.12), (2.13) та (2.14) у рівняння динаміки (2.4) і проведення необхідних перетворень отримаємо систему диференціальних рівнянь руху двофазної сошникової системи по нерівностям поверхні поля:

$$\begin{cases} G1 + \frac{1}{2} \left(\frac{2c_1 r_1 z_1[t]}{l_1} + \frac{c_U m_1 s_2 \left(\frac{m_1 s_2 z_1[t]}{l_1(s_1+s_2)} + \frac{m_2 s_1 z_2[t]}{l_2(s_1+s_2)} \right)}{l_1(s_1+s_2)} + \frac{(d_g l_1 + d_1 r_1) \dot{z}_1[t]}{l_1} + \frac{1}{2} \left(\frac{2I_1 \tan[\beta_1]^2 \ddot{z}_1[t]}{R_1^2} + \frac{2\ddot{z}_1[t] + 2\tan[\beta_1]^2 \ddot{z}_1[t]}{M_1} \right) \right) = \\ = R_{C_1}^Z + \tan(\beta_1) R_{C_1}^X; \\ G2 + \frac{c_2 r_2 z_2[t]}{l_2} + \frac{c_U m_2 s_1 \left(\frac{m_1 s_2 z_1[t]}{l_1(s_1+s_2)} + \frac{m_2 s_1 z_2[t]}{l_2(s_1+s_2)} \right)}{l_2(s_1+s_2)} + d_g \dot{z}_2[t] + \frac{1}{2} \left(\frac{2I_2 \tan[\beta_2]^2 \ddot{z}_2[t]}{R_2^2} + M_2 (2\ddot{z}_2[t] + 2\tan[\beta_2]^2 \ddot{z}_2[t]) \right) = \\ = R_{C_2}^Z + R_{C_2}^X \tan[\beta_2] \end{cases} \quad (2.15)$$

Розв'язок рівняння (2.15) можливо проводити за умов, коли у якості нерівностей поверхні поля ввести реальні значення нерівностей поля, що зареєстровані, наприклад, під час виконання операцій передпосівного обробітку ґрунту, а можливо представити нерівності поверхні поля у вигляді гармонічної функції, наприклад, виду [7]:

$$q_h = h \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{6} \sin(\omega t) \right] \quad (2.16)$$

де h – амплітуда нерівностей;

ω – частота надходження нерівностей у відповідності до швидкості руху сошникової системи.

Відомо, що здатність копіювати сошником нерівності поверхні поля залежить від частоти надходження нерівностей до сошника [15]. Тому, вигляд нерівностей за виразом (2.16) передбачає наявність високочастотної складової нерівностей з амплітудою в 1/6 від амплітуди основної частоти.

2.3. Математична модель функціонування сошникової системи зі зміною положення вдавлюючого диска

Аналіз показує, що ефективність роботи механічного важеля зворотного зв'язку lan (рис. 2.3) буде забезпечена для досить вузького діапазону технологічних параметрів функціонування сошникової системи таких, як швидкість V руху, частота і амплітуда нерівностей поверхні поля h , сила опору ґрунту R при зануренні диска тощо. Зокрема сила опору R є впливовим фактором на глибину ходу вдавлюючого диска і залежить від типу ґрунту, його фізико-механічних властивостей, вологості тощо. Причому, величина наведених властивостей значною мірою змінюється по площі поля в залежності від координат знаходження посівного агрегату в полі.

Це означає, що посівні машини для місцевизначеної сівби повинні одночасно з традиційними агротехнічними вимогами до сівби просапних культур, зокрема глибини заробки, вирішувати ще додаткові задачі з урахування перемінних діючих факторів в системі «машина-поле» [1].

У випадку застосування двофазної сошникової системи в технологіях точного землеробства (ТЗ) необхідно враховувати місцевизначені характеристики стану ґрунту, зокрема його місцевизначену щільність. Тому в подальшому аналізі сошникової системи враховується місцевизначена інформація про щільність ґрунту з можливістю автоматизованої корекції положення вдавлюючого диска (рис. 2.4).

Така автоматизована система повинна забезпечити можливість працювати за технологіями ТЗ, а також покращити ефективність роботи коригуючого пристрою і сошникової системи в цілому для широкого діапазону технологічних умов функціонування [1].

Положення щілиноутворювача контролюється датчиком положення D , сигнал від якого подається на суматор s . До суматора подається також сигнал ручного налаштування U_3 , а на виході маємо сигнал $\lambda(t)$, який подається до модуля управління сервоприводом. До цього модуля також подається сигнал зворотного зв'язку $Z(t)$ від датчика положення вдавлюючого диска, а також

сигнал $R(x,y)$ від блоку розрахунку місцевизначеної щільності ґрунту. Останній функціонує на підставі інформації про поточні координати МТА в полі та картограми місцевизначеної щільності ґрунту.

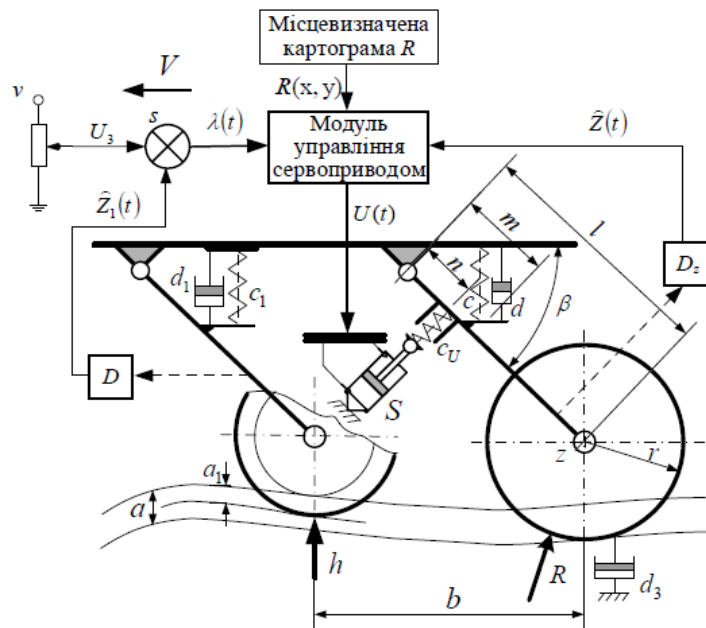


Рисунок 2.4 – Схема двофазної сошникової системи з автоматизованою системою корекції положення вдавлюючого диска

Структурна схема автоматизованої системи корекції положення вдавлюючого диска представлена на (рис. 2.5) [1].

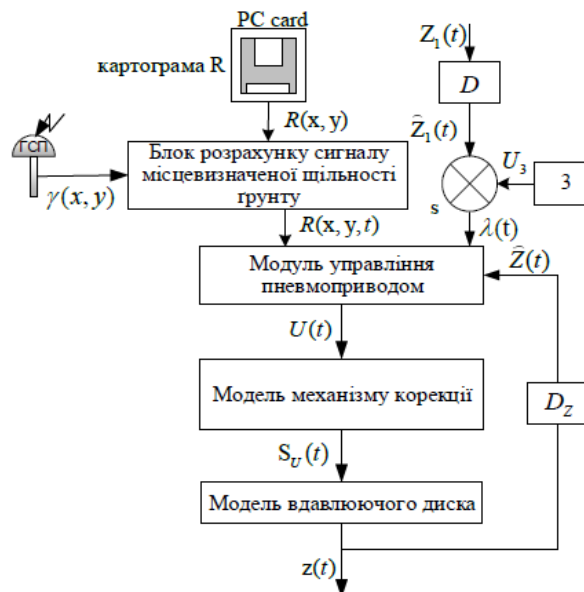


Рисунок 2.5 – Структурна схема автоматизованої системи корекції положення вдавлюючого диска

До блоку розрахунку сигналу місцевизначеної щільності ґрунту від блоку зчитування (PC card) картограми стану ґрунту надходить сигнал $R(x,y)$. До цього ж блоку надходить сигнал $\gamma(x,y)$ від датчика глобальної системи позиціонування (ГСП). Вихідним сигналом цього блоку є нормалізований по амплітуді і синхронізований із світовими координатами сигнал $R(x,y,t)$.

В якості сигналу для слідкування (цілі функціонування) виступає вихідний сигнал $\lambda(t)$. Цей сигнал формується як результат подачі до суматора сигналів $Z_1(t)$ датчика D контролю положення щіліноутворювача та $Z(t)$ від датчика зворотного зв'язку датчика D_z , що контролює положення вдавлюючого диска. Для ручного регулювання положення вдавлюючого диска відносно щіліноутворювача слугує задатчик Z із вихідним сигналом U_3 .

Ціль функціонування досягається, з одного боку, шляхом організації руху щіліноутворювача на глибині a_1 , а також шляхом дії пневмопривода на повідець радіального підвісу вдавлюючого диска (контролюється датчиком D_z з вихідним сигналом зворотного зв'язку $Z(t)$). В результаті на виході системи маємо кінцеву глибину заробки насіння $z(t)$ – рис. 2.5.

Основною задачею є розрахунок оптимального значення керуючої дії $U(t)$, яка подається на механізм корекції положення вдавлюючого диска. Шток пневмопривода S (рис. 2.4) корегує положення вдавлюючого диска відносно щіліноутворювача в залежності від заданих регулювань, стану нерівностей поверхні поля, а також величини опору ґрунту у відповідності до координат місцеположення МТА в полі і величини занурення вдавлюючого диска. В результаті на виході системи маємо конкретне положення вдавлюючого диска $z(t)$, яке знаходиться в функції сигналу керуючої дії $U(t)$, що надходить від модуля управління пневмоприводом.

Висновки по розділу

В розділі наведені рівняння, що складають модель функціонування двофазної сошникової системи для технологій точного землеробства. Аналіз такої моделі дає можливість обрати структуру та значення параметрів керуючої

дії $U(t)$ (закону регулювання), які забезпечують досягнення усталеності процесу функціонування, а також роботу при допустимих значеннях помилки слідування за виконанням завдання.

У випадку застосування двофазної сошникової системи в технологіях точного землеробства (ТЗ) необхідно враховувати місцевизначені характеристики стану ґрунту, зокрема його місцевизначену щільність. Тому, в аналізі сошникової системи враховується місцевизначена інформація про щільність ґрунту з можливістю автоматизованої корекції положення вдавлюючого диска.

Така автоматизована система повинна забезпечити можливість працювати за технологіями ТЗ, а також покращити ефективність роботи коригуючого пристрою і сошникової системи в цілому для широкого діапазону технологічних умов функціонування.

РОЗДІЛ 3.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СОШНИКОВОЇ СИСТЕМИ

Важливим напрямком в розробці робочих органів сільськогосподарських машин є обґрунтування їх конструктивних, кінематичних, технологічних та експлуатаційних параметрів на основі проведених теоретичних досліджень. В процесі теоретичних досліджень були отримані аналітичні залежності, які встановлюють зв'язок між конструктивними параметрами сошникової системи, параметрами автоматизованої системи і характеристиками твердості та нерівностей поверхні поля. Однак, при описі процесу роботи сошникової системи практично неможливо передбачити і врахувати всі окремі фактори, які в тій чи іншій мірі обумовлюють точність отриманої математичної моделі. Одночасний вплив на характер руху двофазної сошникової системи по нерівностях поверхні поля значної кількості різного роду зовнішніх збурень, не дозволяє описати процеси, що відбуваються з достатньою точністю тільки теоретичним шляхом. Найбільш достовірними вважаються результати дослідження працездатності посівних машин і їх робочих органів, які отримані експериментальним шляхом.

3.1. Обладнання для забезпечення експериментальних досліджень

Для вивчення впливу надходження нерівностей поверхні поля та просторової зміни твердості ґрунту по довжині гону на рівномірність залягання насіння по глибині, та на відповідність заданому висівним апаратом розподілу насіння вздовж рядка, було спроектовано і виготовлено установку (рис. 3.1).

Установка є двофазною сошниковою системою, що складається із диска щілиноутворювача 1, який через підпружинений амортизатором 2 повідок 3 закріплений шарнірно до рами 4, глибина ходу диска щілиноутворювача регулюється опорно-ходовими колесами 5. Послідовно, в повздовжньому напрямку, встановлений висівний апарат 7 із насіннєпроводом 6. Вдавлюючий

диск 10, встановлений на повідку 11, який шарнірно приєднаний до рами. Висівний апарат приводиться в рух за допомогою електродвигуна-редуктора 8 через ланцюгову передачу 9.

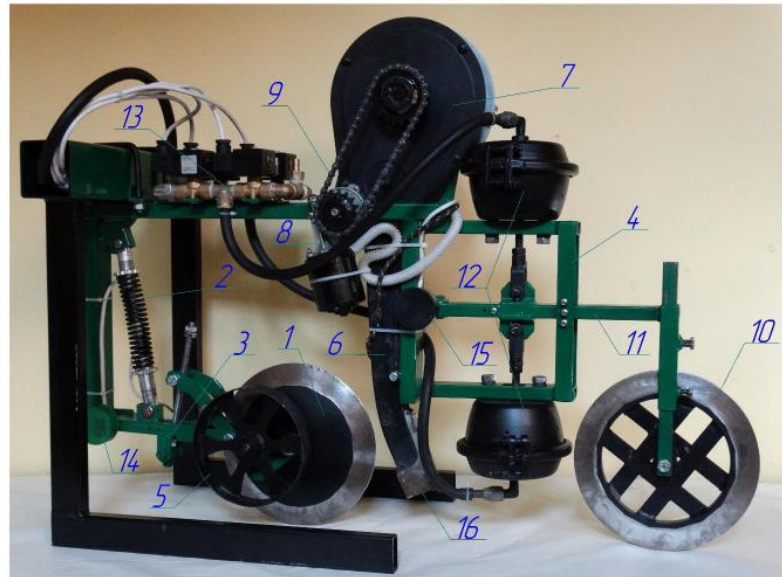


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд установки:

1 – диск щілиноутворювач, 2 – амортизатор, 3 – повідок, 4 – рама, 5 – опорно-ходові колеса, 6 – насіннєспровід, 7 – висівний апарат, 8 – електродвигун-редуктор, 9 – ланцюгова передача, 10 – вдавлюючий диск, 11 – повідок, 12 – пневмоциліндри, 13 – клапанно-розподільний механізм, 14, 15 – датчики положення повідків, 16 – індуктивний датчик.

Двофазна сошниковая система має автоматизовану систему регулювання і контролю положення вдавлюючого диска, яка, в свою чергу, складається із двох пневмоциліндрів 12, клапанно-розподільного механізму 13, датчиків 14 і 15 положення повідків, зовнішнього джерела стисненого повітря (на рис. не показано) та контролера Мікрол МІК 121, який крім того керує роботою висівного апарата. Для фіксації моменту прольоту насінини в нижній частині насіннєспровода встановлено індуктивний датчик 16.

3.2. Перевірка основних параметрів виготовленої двофазної сошникової системи для сівби просапних культур

Відповідно до пропонованої гіпотези покращення якості сівби просапних культур передбачає застосування двофазного способу заробки насіння.

Для реалізації двофазного способу заробки насіння спроектували і виготовили двофазну сошникову систему (рис. 3.1), послідовність процесу заробки насіння якою наступна:

1-ша фаза: конусний щілиноутворювач входить в ґрунт і утворює щілину зі сприятливими, для заклинювання в ній насіння, геометричними параметрами (рис. 3.2 а), після чого в утворену щілину подається насіння, яке фіксується заклинюванням між стінками щілини без перекочування в повздовжньому напрямку і орієнтується по осі щілини (рис. 3.2 б).

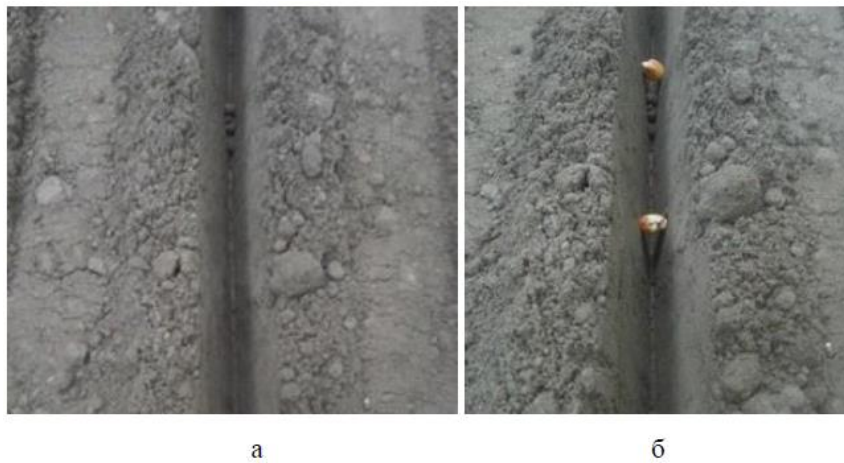


Рисунок 3.2 – Перша фаза реалізації двофазного способу заробки насіння:

а – щілина в ґрунті; *б* – насіння в щілині

2-га фаза: вдавлюючий диск з певними геометричними параметрами, рухається вздовж щілини, і своїми робочими кромками зрізає бокові вологі стінки ґрунту. Ґрунт при зрізанні, за рахунок форми жолоба диска переміщується вниз і накриває насіння, що знаходиться в щілині, одночасно стискається навколо нього (рис. 3.3 а) після чого вдавлюючий диск переміщує насіння із ущільненим шаром ґрунту на задану глибину сівби, яка є більшою ніж глибина утвореної щілини в ґрунті. Загортання стрічки виконується традиційним способом.

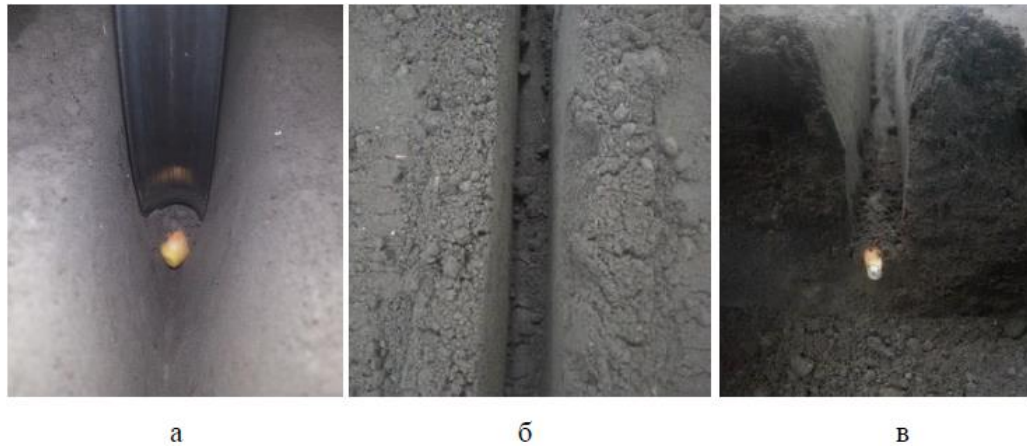


Рисунок 3.3 – Друга фаза реалізації двофазного способу заробки насіння:
а – робота вдавлюючого диска; *б* – зона ущільненого ґрунту (вид зверху);
в – зона ущільненого ґрунту (розріз)

Пропонований двофазний спосіб сівби просапних культур дозволяє забезпечити заробку насіння (рис. 3.3 б,в) у вологий шар ґрунту. Навколо насінини формується ядро ущільненого і зволоженого ґрунту, а зверху можливо утворити мілкозернисту мульчовану структуру. Насіння залягає на заданій (з допустимим відхиленням) глибині незалежно від стану нерівності і твердості поверхні поля. Не порушується рівномірність розподілу насіння вздовж рядка, яку забезпечує висівний апарат та до мінімуму зводиться розкидання насіння в сторони відносно осрової лінії рядка.

3.3. Дослідження характеру зміни твердості ґрунту на глибині заробки насіння

Для визначення просторової зміни твердості ґрунту був використаний пенетрометр FIELDSCOUT SC 900. Під час проведення досліджень пенетрометр працював із зовнішнім модулем GPS [4], що дало змогу записувати в автоматичному режимі координати кожної точки визначення твердості. Одиниці визначеної твердості відображалися в кПа.

Для отримання загального уявлення просторової зміни твердості ділянки розміром 9х12м., вона умовно накривалася сіткою із квадратними гніздами, сторона яких дорівнювала 0,5м. Твердість визначалася у вершинах квадратів на

глибині 0,05м. За результатами вимірювань була побудована тривимірною поверхня (рис. 3.4)

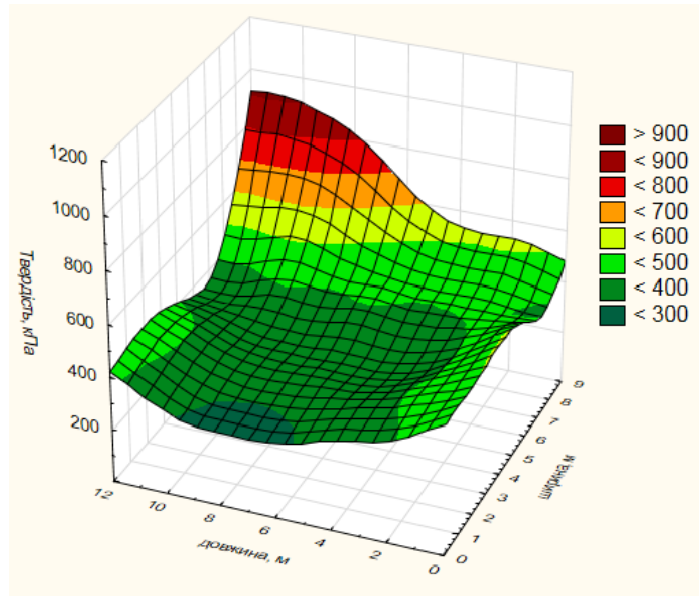


Рисунок 3.4 – Зображення зміни твердості ґрунту на глибині 5 см

З рисунку видно, що твердість ґрунту на даній ділянці змінюється в широких межах від 175 до 1015 кПа (близько у 6 разів).

Вимірювання твердості на ділянці із зяблевою оранкою, попередник овес, вздовж прямої лінії з кроком 0,5м (30 точок) на глибині 0,05м відображене на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Твердість ґрунту на глибині 0,05м, кПа

Середнє значення склало $\bar{x} = 214.1$ кПа а середньоквадратичне відхилення $\sigma = 68.8$ кПа.

Подібні результати було отримано на ділянці без попереднього обробітку ґрунту, попередник картопля (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Твердість ґрунту на глибині 0,05м, кПа

Середнє значення $\bar{x} = 221.7$ а середньоквадратичне відхилення $\sigma = 77.8$.

Результати досліджень твердості ґрунту по стерні жита (рис. 3.7) показують збільшення середнього значення до величини $\bar{x} = 835$ порівняно із «чистим» полем після картоплі та зяблевої оранки стерні вівса, що пов'язано із наявністю розгалуженої кореневої системи рослин на глибині вимірювання. Середньоквадратичне відхилення склало $\sigma = 109.9$ кПа.



Рисунок 3.7 – Твердість ґрунту на глибині 0,05м, кПа

Перевірка характеру зміни твердості по довжині гону на полі, що було підготовлене до сівби, вимагала більшої деталізації. Вимірювання були проведені вздовж залікової ділянки з інтервалом 0,1м. (при довжині залікових ділянок 5 м). Одна з них відображена на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Твердість ґрунту на глибині 0,05м, кПа

Графік на (рис. 3.8) показує діапазон зміни твердості ґрунту в межах 100 – 1300 кПа, середнє значення $\bar{x} = 571.4$ а середньоквадратичне відхилення $\delta = 298.04$. Така просторова неоднорідність твердості ґрунту накладає додаткові умови функціонування посівного агрегату в полі, зокрема на забезпечення стабільності глибини ходу сошника, для забезпечення заданої глибини ходу якого, необхідно постійно змінювати притискне зусилля.

Аналіз спектральних щільностей наведених процесів зміни твердості ґрунту по довжині гону не виявив явно виражених піків в діапазоні частот від 0 до 0.5 Гц. Наприклад, спектральна щільність зміни твердості ґрунту на ділянці із зяблевою оранкою (попередник овес) вздовж лінії гону з кроком 0,5м має максимум на частоті 0.075 Гц з поступовим зменшенням амплітуди на більших частотах (рис. 3.9).

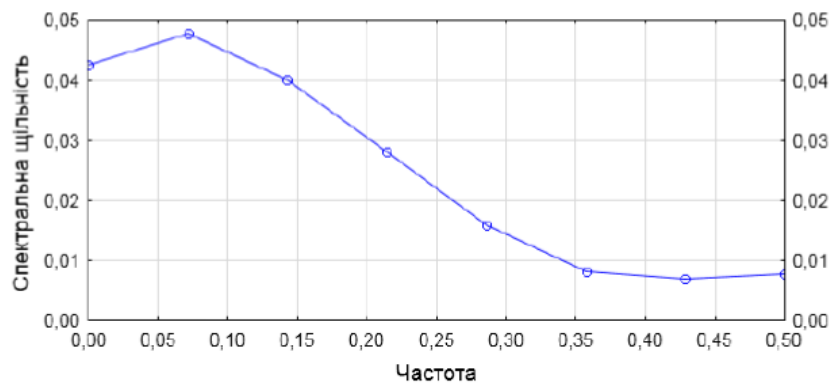


Рисунок 3.9 – Спектральна щільність зміни твердості ґрунту на ділянці із зяблевою оранкою (попередник овес)

Відповідно на ділянках без попереднього обробітку ґрунту (попередник картопля) та по стерні жита максимальні значення амплітуд спектральних щільностей зміщуються в бік більших частот до 0.43 Гц.

Наведені дані свідчать про те, що твердість ґрунту, підготовленого до сівби сільськогосподарських культур, змінюється в широких межах (до 1300 кПа) і не має домінуючих частот зміни вздовж лінії гону. Ці моменти треба враховувати при закладанні вихідних умов під час виконання імітаційного моделювання процесів функціонування сошникових систем сівалок [4].

3.4. Порівняльні показники роботи експериментальної сошникової системи

Для порівняльної оцінки роботи двофазної сошникової системи в польових умовах визначали коефіцієнти варіації глибини заробки насіння, відстані між рослинами в рядку, польову схожість насіння та середню щільність ґрунту в зоні залягання насіння. Всі показники визначали після отримання сходів шляхом вимірювання тридцяти послідовно розміщених рослин на п'яти окремих ділянках. Порівнювали тринадцятий (двофазна сошникова система) і чотирнадцятий ряди сівалки.

Коефіцієнт варіації глибини заробки насіння (рис. 3.10) для базової сошникової системи склав 9,67% а для пропонованої – 4,49% (зменшився близько у 2,1 раз), із чого видно, що пропонована сошникова система працює із дотриманням заданої глибини заробки насіння на досить високому рівні.



Рисунок 3.10 – Коефіцієнт варіації глибини заробки насіння, %; коефіцієнт варіації відстані між рослинами в рядку, %; польова схожість насіння, %

Показник коефіцієнта варіації відстані між рослинами в рядку зменшився із 24,7% у базовій сошниковій системі до 8,6% у пропонованій. Різницю майже у три рази можна пояснити тим, що базова сошникова система має дводисковий сошник, після проходження якого утворюється борозенка із несприятливими, для заклинювання в ній умовами, насіння. Тобто насіння, після виходу з насіннепровода і контакту із ґрунтом може прокочуватись вздовж борозенки, або відбиватися від її дна із подальшим зміщенням. Ці процеси повністю

відсутні у пропонованій сошниковій системі. До того ж пропонована сошниковая система після проходження вдавлюючого диска утворює в зоні залягання насіння шнур ущільненого ґрунту, що унеможливорює перерозподіл насіння по довжині рядка робочими органами, що закривають борозенку.

Дослідження щільності ґрунту в зоні залягання насіння (рис. 3.11) підтвердило запропоновану гіпотезу про ідеалізовані умови заробки насіння. При цьому показник середньої щільності ґрунту в зоні залягання насіння зріс із $1,02 \text{ г/см}^3$ при проведенні сівби базовою сошниковою системою до $1,18 \text{ г/см}^3$ – пропонованою.

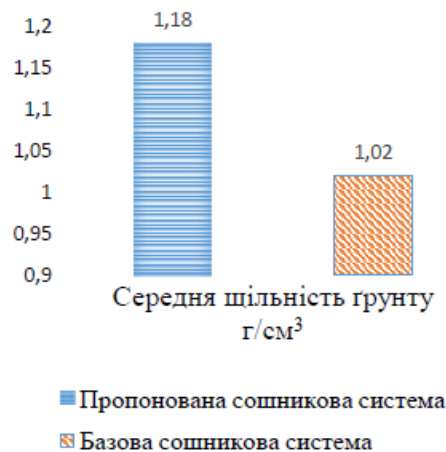


Рисунок 3.11 – Середня щільність ґрунту в зоні залягання насіння, г/см^3

В подальшому контролювалася польова схожість насіння, яка зросла на 8,8 % при сівбі пропонованою сошниковою системою.

Підвищення показників по чотирьох основних параметрах оцінки роботи сівалки свідчить про перевагу пропонованої сошникової системи над базовою.

Висновки по розділу

Із результатів експериментальних досліджень визначено, що пропонований двофазний спосіб сівби просапних культур дозволяє забезпечити заробку насіння у вологий шар ґрунту. Навколо насінини формується ядро ущільненого і зволоженого ґрунту, а зверху можливо утворити мілкозернисту мульчовану структуру. Насіння залягає на заданій (з допустимим відхиленням) глибині незалежно від стану нерівності і твердості поверхні поля. Не

порушується рівномірність розподілу насіння вздовж рядка, яку забезпечує висівний апарат та до мінімуму зводиться розкидання насіння в сторони відносно осьової лінії рядка.

Експериментальні дослідження впливу обґрунтованих конструктивних параметрів двофазної сошникової системи на формування розподілу насіння в ґрунті показали зниження коефіцієнту варіації глибини заробки насіння в два рази (до 4,49 %), зниження коефіцієнту варіації відстані між рослинами майже в три рази (до 8,6%), підвищення схожості насіння на 8,8%, підвищення середньої щільності ґрунту в зоні залягання насіння з 1,02 до 1,18 г/см³ у порівнянні з базовою сошниковою системою.

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Організація умов та заходів з охорони праці в господарстві

Згідно із Законом України «Про охорону праці» (далі – Закон) [8] навіть за наявності одного працюючого керівник несе дисциплінарну, адміністративну, матеріальну та кримінальну відповідальності.

Загальні вимоги з охорони праці для всіх юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, базуються на основі Закону, трудового договору, колективного договору, правил трудового розпорядку, нормативно-правових актів з охорони праці, акумульованих у Показнику нормативно-правових актів.

У господарстві повинні бути розроблені:

- посадові інструкції, правила внутрішнього трудового розпорядку;
- комплексні заходи для досягнення встановлених нормативів та підвищення існуючого рівня охорони праці;
- положення, інструкції та інші акти з охорони праці, що діють у межах підприємства та встановлюють правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, робочих місцях відповідно до нормативно-правових актів з охорони праці;
- порядок та графік проведення навчань та перевірки знань з охорони праці працівників та спеціалістів з охорони праці (комісія);
- технологічні карти процесів та робіт (вантажно-розвантажувальні роботи, схеми переробки та обробки зерна, виконання польових робіт тощо).

Також до основних обов'язків роботодавця належить:

- забезпечення фінансування та організації проведення попереднього (під час прийняття на роботу) і періодичних (протягом трудової діяльності) медичних оглядів працівників, зайнятих на важких роботах, роботах із шкідливими чи небезпечними умовами праці або таких, де є потреба у професійному доборі.

- забезпечення працівників спецодягом, іншими засобами індивідуального захисту, мийними та знешкоджувальними засобами;
- проведення атестації робочих місць;
- за необхідністю організація розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій в порядку, встановленому постановою КМУ від 17 квітня 2019 р. № 337 Порядку розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві.

Отже, незалежно від обсягу виробництва та кількості працюючих, сам господар в першу чергу повинен усвідомлювати необхідність створення безпечних та здорових умов праці для попередження виробничого травматизму та професійних захворювань в порядку встановленому чинним законодавством.

4.2. Моделювання процесів виникнення травм при роботі із сівалкою

Використовуючи метод логічного моделювання можна передбачити протікання будь-якої травматичної ситуації і, відповідно, вжити заходів до її попередження. Першочергово це завдання покладається на керівників виробничих підрозділів або спеціалістів. При цьому, проведення заходів попередження виробничого травматизму дозволить уникнути їм відповідальності за нещасні випадки що сталися з їхніми підлеглими.

Аналіз побудованої логічної моделі технологічного процесу дозволяє знайти первинну подію, з якої починається утворення небезпечної ситуації. Крім того, логічні моделі дають можливість виявити причетність окремих осіб до виникнення небажаних подій, а також ступінь вини самого потерпілого. Метод є більш наглядним для процесу не тільки навчання, але і виховання в молоді стереотипу безпечної поведінки [17].

Під час побудови логіко-імітаційних схем використовують сукупність небезпечних подій, пов'язаних між собою причинно-наслідковими зв'язками, які у процесі діяльності можуть призвести до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій. Головним елементом логічної моделі є поняття про

небезпечну ситуацію (НС) – тобто випадкове явище, що передує виникненню травм, аварій, катастроф. [17]

При роботі із сівалкою логіко-імітаційна модель виникнення небезпечних ситуацій буде мати вигляд:

$$НУ - НД - НС - (А;Т)$$

У процесі роботи були забиті робочі органи машини (НУ), робітник намагається усунути недолік в умовах машини, що працює, (НД), це призводить до захоплення руки (НС) та травмуванню (Т) робітника.

Висновки по розділу

Таким чином, в розділі наведені заходи з охорони праці в господарстві та показано моделювання виробничих небезпек при роботі з сівалкою. Визначено, що при проведенні моделювання травмонебезпечних ситуацій можна уникнути травм та небезпечних ситуацій на робочому місці.

РОЗДІЛ 5.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Оцінка економічної ефективності запропонованої конструкції двофазної сошникової системи для сівби просапних культур проведена за результатами експлуатаційно-технологічного дослідження їх параметрів згідно з ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24057-88, ГОСТ 24059-88 та ДСТУ 4397: 2005 та чинними нормативними документами, що відображають надійність машин, якість їх роботи, безпечність та умови праці механізаторів [20].

За результатами проведених досліджень виконаний розрахунок економічної ефективності сівалки із двофазною сошниковою системою у порівнянні із сівалкою John Deere 7000.

Критерієм економічного оцінювання є річний економічний ефект від експлуатації нової машини, величина якого має забезпечувати рівень ефективності інвестиційних вкладень не нижче нормативного (на етапі випробувань приймають рівним 0,2).

Показниками порівняльної економічної ефективності є річний економічний ефект, термін окупності додаткових інвестиційних вкладень у роках, річна економія ресурсів.

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини з урахуванням кількості та якості продукції (E_p) у гривнях визначали за формулою:

$$E_p = (\Pi_6 - \Pi_n) \cdot B_z + E_{\text{я}}, \quad (5.1)$$

де Π_6 , Π_n – сукупні витрати на одиницю наробітку відповідно по базовій і новій машинах, грн./од. наробітку;

B_z – річний обсяг наробітку новою машиною в умовах певної природно-кліматичної зони, од. наробітку;

$E_{\text{я}}$ – річний економічний ефект, одержаний за рахунок зміни кількості та якості продукції, грн.

Зональний річний обсяг наробітку новою машиною (B_3) в одиницях наробітку обчислювали за формулою:

$$B_3 = W_{ек} \cdot T_3, \quad (5.2)$$

де $W_{ек}$ – продуктивність нової машини за 1 год експлуатаційного часу, од. наробітку/год;

T_3 – зональне річне завантаження машини, год.

Річний економічний ефект (O) від експлуатації нової машини у гривнях розраховували за формулою:

$$O = (I_б - I_n) \cdot B_3, \quad (5.3)$$

де $I_б$, I_n – прямі експлуатаційні витрати відповідно по базовій та новій машинах на одиницю наробітку, грн./од. наробітку.

Термін окупності додаткових інвестиційних вкладень на нову машину ($T_{окд}$) у роках можна оцінити за формулою:

$$T_{окд} = \frac{K_n - K_б}{O}, \quad (5.4)$$

де K_n , $K_б$ – сумарні інвестиційні вкладення відповідно у нову та базову машини, грн.

Сукупні витрати (Π) у гривнях на одиницю наробітку розраховували за формулою:

$$\Pi = I + K \cdot E_n, \quad (5.5)$$

де I – прямі експлуатаційні витрати, грн./од. наробітку;

K – питомі інвестиційні вкладення, грн./од. наробітку;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності.

Прямі експлуатаційні витрати (I) у гривнях на одиницю наробітку розраховували за формулою:

$$I = 3 + \Gamma + P + A, \quad (5.6)$$

де 3 – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./од. наробітку;

Γ – затрати на паливно-мастильні матеріали та електроенергію, грн./од. наробітку;

P – затрати на технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт, грн./од. виробітку;

A – затрати на амортизацію, грн./од. виробітку.

Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу (3) у гривнях на одиницю виробітку визначали за формулою:

$$3 = \frac{\sum_{j=1}^n L_i \cdot t_i \cdot r_i \cdot \kappa_{\partial} \cdot n_i}{W_{зм}}, \quad (5.7)$$

де L_i – кількість i -ої категорії виробничого персоналу, зайнятого для виконання основного технологічного процесу, технічного обслуговування та ремонту машини (визначають за даними випробувань), люд.;

t_i – тривалість зайнятості i -го виробничого персоналу, год;

r_i – погодинна тарифна ставка оплати праці на i -му виді робіт, грн./люд.-год;

κ_{∂} – коефіцієнт, що враховує доплати до годинної ставки за продукцію, класність, стаж роботи тощо;

n_i – коефіцієнт нарахувань на заробітну плату (пенсійний фонд, соціальне страхування фонд сприяння зайнятості);

$W_{зм}$ – продуктивність нової машини за годину експлуатаційного часу, од. виробітку/год.

Затрати коштів на паливо-мастильні матеріали (Γ) у гривнях на одиницю виробітку визначали за формулою:

$$\Gamma = q \cdot \kappa_n \cdot \Pi_n, \quad (5.8)$$

де q – питомі витрати палива, кг/од. виробітку;

Π_n – ціна одного кілограма палива, грн./кг;

κ_n – коефіцієнт, що враховує вартість мастильних матеріалів.

Затрати на капітальний та поточний ремонт та технічне обслуговування (P) у гривнях на одиницю виробітку визначали за формулою:

$$P = \frac{B \cdot (r_m + r_{\kappa})}{W_{ек} \cdot T_n}, \quad (5.9)$$

де r_m – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування;

r_k – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

T_n – нормативне річне завантаження, год.

Затрати на амортизацію машини (A) у гривнях на одиницю наробітку визначали за формулою:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{зм} \cdot T_z}, \quad (5.10)$$

де a – коефіцієнт відрахувань на амортизацію машини.

Вихідні данні для економічної оцінки нової техніки наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні данні для економічної оцінки
сівалки John Deere 7000

№ п/п	Найменування показників	Значення показників	
		базова	нова
1	Тип машини	напівначіпна	
2	Потужність трактора, к.с.	200-250	
3	Кількість машин в агрегаті, шт..	1	1
4	Ширина захвату, м	11,2	11,2
5	Допоміжне обладнання	-	-
6	Робоча швидкість, км/год	10	10
7	Ціна сівалки, грн.	890000	985000
8	Продуктивність: - за годину основного часу, га/год - експлуатаційного часу, га/год	6,8 4,76	6,8 4,76
9	Коефіцієнт використання експлуатаційного часу	0,61	0,61
10	Коефіцієнт використання змінного часу	0,87	0,87
11	Зональний річний обсяг наробітку, га	430,4	448,0
12	Маса сівалки: - суха конструкційна, кг - експлуатаційна, кг	6250 7645	6134 7529
13	Питома матеріалоемність, кг/м	558,03	547,67
14	Питомі витрати палива, кг/га	5,2	5,2
15	Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1	1
16	Тарифна ставка, грн./га	60,55	60,55
17	Відсоток відрахувань до амортизаційного фонду, %	15	15

Продовження таблиці 5.1

18	Коефіцієнт додаткової заробітної плати за якість та доплата за класність механізатору	-	-
19	Відсоток відрахувань до соціальних фондів, %	19	19
20	Відсоток відрахувань на ремонт:		
	- трактора, %	14,9	14,9
	- сівалки, %	9	9
	- зчіпки, %	-	-

Економія витрат на матеріали у виробника:

$$E_m = (595,2 - 508,1) \cdot 4,2 \cdot 14,4 = 5267,8 \text{ грн.} \quad (5.11)$$

Економія у споживача за рахунок зростання продуктивності праці на одну сівалку за годину річного наробітку:

$$E_{\text{я}} = (74,82 - 57,24) \cdot 464 = 8157,12 \text{ грн.} \quad (5.12)$$

Загальна економія:

$$E_z = 52,67 + 8157,12 = 13424,9 \text{ грн. на одну сівалку} \quad (5.13)$$

Річний економічний ефект у виробника на одну сівалку:

$$E_p = (13424,9 - 0,2 (52800 - 36000 \cdot 2)) = 17264,9 \text{ грн.} \quad (5.14)$$

Вихідні данні для економічної оцінки від впровадження сівалки обладнаної двофазною сошниковою системою виробництво наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку річної економії та річного економічного ефекту від впровадження обладнаної двофазною сошниковою системою

№ п/п	Найменування показників	Значення показників	
		базова	нова
1	Зональний обсяг наробітку, год.	160	160
2	Фактичний обсяг наробітку, га	110	110
3	Прямі експлуатаційні витрати:		
	- заробітна плата з нарахуванням, грн./га	60,55	60,55
	- витрати на ПММ, грн./га	156	156
	- витрати на ремонт, грн./га	21,67	21,67
	- амортизаційні відрахування, грн./га	32,67	22,51
4	Всього прямі витрати, грн./га	74,82	57,24

Продовження таблиці 5.2

5	Річна економія експлуатаційних витрат на один гектар, грн./га		1300
6	Річна економія експлуатаційних витрат на річний фактичний обсяг наробітку однією сівалкою, грн.		143000

Висновки по розділу

Таким чином, із проведених розрахунків економічної ефективності запропонованої конструкції визначено річний економічний ефект, який складає близько 1,3 тис. грн/га. Термін окупності витрат – 0,6 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дипломній роботі виконано наступне:

Проведено аналіз існуючих способів і технічних засобів реалізації сівби просапних культур. Розроблено математичну модель функціонування двофазної сошникової системи для просапних сівалок.

Встановлено взаємозв'язок конструктивно-технологічних параметрів сошникової системи двофазного способу заробки насіння з вимогами високоточного розподілу насіння просапних культур в ґрунті, а саме дотримання заданої глибини заробки та рівномірного розміщення насіння вздовж рядка, незалежно від місцевизначеної твердості ґрунту і стану нерівностей поверхні поля.

Проведено теоретичний та практичний аналіз процесу взаємодії робочих органів двофазної сошникової системи з ґрунтом, як цілісної динамічної системи, для якої обґрунтовано взаємозв'язок функціонування щілиноутворювача і вдавлюючого диска. Визначене оптимальне значення $\Delta h_{opt}=2,802$ см різниці глибини ходу щілиноутворювача і вдавлюючого диска, яка необхідна для утворення в зоні залягання насіння щільності ґрунту в межах $1,1 \dots 1,3$ г/см³.

Експериментальні дослідження впливу обґрунтованих конструктивних параметрів двофазної сошникової системи на формування розподілу насіння в ґрунті показали зниження коефіцієнту варіації глибини заробки насіння в два рази (до 4,49 %), зниження коефіцієнту варіації відстані між рослинами майже в три рази (до 8,6%), підвищення схожості насіння на 8,8%, підвищення середньої щільності ґрунту в зоні залягання насіння з 1,02 до 1,18 г/см³ у порівнянні з базовою сошниковою системою.

Проведено оцінку техніко-економічної ефективності використання сівалки, обладнаної двофазними сошниковими системами для сівби просапних культур згідно ДСТУ 4397:2005. Річний економічний ефект склав близько 1,3 тис. грн/га. Термін окупності витрат – 0,6 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анискевич Леонид, Росамаха Юрий. Анализ функционирования двухфазной сошниковой системы для посева пропашных культур. MOTROL. Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. 2015. Vol. 17. No 3. P. 46–55.
2. Аніскевич Л.В., Росамаха Ю.О. Конструктивні особливості сошникових систем сучасних сівалок та їх відповідність вимогам точного землеробства. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 241. С. 270–279.
3. Аніскевич Л. В., Росамаха Ю. О. Патент України на корисну модель № 93137 Україна, А01С 7/20. Щілиноутворювач для сівби сільсько-господарських культур. Заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № у 201401824; заявлено 24.02.2014; опубліковано 25.09.2014. Бюл. № 18.
4. Аніскевич Л. В., Росамаха Ю. О. Характер зміни твердості ґрунту на глибині заробки насіння. Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: агроінженерні дослідження. 2017. Вип. 21.
5. В. Кравчук, А. Кушнар'ов, В. Таргоня, М. Павлишин, В. Гусар. БІОСФЕРА ТА АГРОТЕХНОЛОГІЇ: ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ. - Навчальний посібник. - Дослідницьке, 2015. 240 с.
6. Василенко П.М. Основи аналітичних методів землеробської механіки. К.: Видавництво НАУ, 1998. 29с.
7. Воробьев Е.Л., Аввакуменко В.С. Обоснование математической модели движения колеса по неровному рельефу. - Труды БСХА, 1974, Т. 131. С.34–40.
8. Закон України «Про охорону праці». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>.
9. Каталог продукції URL: <http://www.amazone.de/1265.asp>.
10. Каталог продукції URL: <https://www.horsch.com/en/products/seeding-technology/single-grain-seed-drills/maestro/maestro-cc/>.
11. Каталог продукції компанії Gaspardo. URL: http://www.maschio.com/catalog/category/semina/uk_UA.

12. Каталог продукції компанії Great Plains. URL: <https://www.greatplainsint.com/uk/1503/planter-accuracy>.
13. Каталог продукції компанії John Deere. URL: https://www.deere.ua/uk_UA/docs/product/equipment/seeding/d25b_series/specs/1014608_Planters_RUS.pdf.
14. Каталог продукції компанії Vaderstad. URL: <https://www.vaderstad.com/ua/sivalky-tochnogo-vusivu/sivalky-tempo/>. 14
15. Кравчук В.І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин. Монографія. К.: НАУ. 2005. 208 с.
16. Посібник. Машини для обробітку ґрунту та сівби / За ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого, 2009. 288 с.
17. Прокопенко Е.В., Лісовий І.О., Лісова Т.С. Моделювання виробничих небезпек та зменшення їх шкідливого впливу під час проведення механізованих робіт. Зб. наук. праць УНУС. Умань, 2015. С. 79-86.
18. Росамаха Ю. О. Математична модель двофазної сошникової системи для сівби просапних культур. Інноваційний розвиток аграрної сфери: II Міжнародна наукова конференція, м. Київ, 19–21 березня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 39–41.
19. Росамаха Ю.О. Організація механізованих операцій сівби в технологіях точного землеробства. Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: II Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, м. Київ, 16–18 жовтня 2013 року: тези доповіді. К., 2013. С. 152–153.
20. Сеялки тракторные. Методы испытаний: ГОСТ 31345-2007. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2007. 57 с.
21. Сівалка точного висіву ствт-12/8м технічні особливості URL: <http://todak.com.ua/agrotechnics/tehn.html>.
22. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування: ДСТУ 4397:2005. [Чинний від 2005–04–28]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 16 с.
23. Сільськогосподарські машини: підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К.: «Агроосвіта», 2015. 679 с.

24. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки/ за ред. В.І. Кравчука,. М.І. Грицишина, С.М. Ковалю. К.: Аграрна наука, 2004. 396 с.

25. Farm equipment Features - Great Plains Rolls Out New Products URL: <https://www.farm-equipment.com/articles/5024-features---great-plains-rolls-out-new-products>.