

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ____ ” _____ 20 ____ р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
Андрій ВОЙТІК
(підпис) (ініціали, прізвище)

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістр

(освітній рівень)

тема роботи **«УДОСКОНАЛЕННЯ КОМБІНОВАНОГО ҐРУНТООБРОБНО-ПОСІВНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ СІВБИ СІДЕРАЛЬНИХ КУЛЬТУР»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 23м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208
«Агроінженерія»
Плаксивий О.М.
(прізвище та ініціали)

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

м. Умань – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма магістр
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Андрій ВОЙТІК
“ ” 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту Плаксивому Олександр Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Удосконалення комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата для сівби сидеральних культур»

керівник роботи Кутковецька Т.О., к.е.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
“ 14 ” листопада 2024 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи 22.11.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: навчальна, наукова та періодична література за темою роботи; напрацювання науковців щодо конструкцій робочих органів комбінованих посівних машин.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: вступ; аналіз відомих конструкцій робочих органів посівних машин; теоретичні та експериментальні дослідження функціонування комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата; охорона праці; економічна ефективність застосування комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження;

РЕФЕРАТ

Плаксивий О.М. Удосконалення комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата для сівби сидеральних культур (Дипломна робота, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 66 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 26 рисунків, 10 таблиць, 31 джерело літератури).

Використання сидеральних добрив є економічною та екологічною альтернативою забезпечення ґрунту необхідними речовинами.

З огляду тенденцій світового ринку техніки найбільш ефективними знаряддями «сидеральних» технологій є комбіновані ґрунтообробно-посівні агрегати, які забезпечують сівбу сидеральних культур одночасно з обробітком ґрунту. Модульна схема реалізації таких агрегатів дає змогу використовувати поширені на ринку серійні або спеціалізовані ґрунтообробні знаряддя, які дооснащуються (простим за схемами приєднання та приводом) висівним апаратом (висівним модулем) із системами прийнятними за агротехнічними показниками дозуванням та внесенням дрібнонасіненних культур.

Об'єкт дослідження – технологічний процес висіву сидеральних культур робочими органами комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів.

Предмет дослідження – взаємозв'язок технологічно-конструкційних параметрів комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата і тарілчастого розсіювача з якістю висіву сидеральних культур.

Мета роботи – підвищення ефективності техніко-технологічного процесу сівби сидеральних культур поєднанням технологічних операцій комбінованим ґрунтообробно-посівним агрегатом та удосконаленням конструкційних параметрів тарілчастого розсіювача.

Ключові слова: СИДЕРАЛЬНІ КУЛЬТУРИ, ҐРУНТООБРОБНО-ПОСІВНИЙ АГРЕГАТ, ТАРИЛЧАСТИЙ РОЗСІЮВАЧ, ПРОЦЕС ВИСІВУ, ДРІБНОНАСІННЄВІ КУЛЬТУРИ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ.....	7
1.1. Аналіз сучасних техніко-технологічних рішень сівби сидератів.....	7
1.2. Аналіз результатів досліджень перспективних технічних рішень.....	13
1.3. Мета і завдання дослідження.....	15
Висновки по розділу.....	16
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	17
2.1. Модель функціонування комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата.....	17
2.2. Дослідження параметрів блоку технологічності.....	19
2.3. Дослідження параметрів блоку якості розсіювання насіння.....	26
Висновки по розділу.....	32
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	34
3.1. Схема експериментальної установки та обґрунтування принципів взаємодії технологічних модулів.....	34
3.2. Визначення параметрів функціонального блоку технологічності (швидкості агрегата і норми висіву насіння).....	36
3.3. Визначення параметрів функціонального блоку якості висіву сидеральних культур.....	37
Висновки по розділу.....	49
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	51
4.1. Організація та заходи з охорони праці в господарстві.....	51
4.2. Моделювання виробничих небезпек при роботі з комбінованим ґрунтообробно-посівним агрегатом.....	54
Висновки по розділу.....	55
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМБІНОВАНОГО ҐРУНТООБРОБНО-ПОСІВНОГО АГРЕГАТА.....	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

ВСТУП

В умовах функціонування сучасного агропромислового виробництва України спостерігається різке зниження (до 30 % від нормативної потреби) використання органічних добрив.

Водночас залишається актуальним питання забезпечення ґрунту поживними речовинами на основі альтернативних та доступних джерел. Одним із таких джерел, як показує світовий досвід зарубіжних країн (США, Канади, Німеччини, Бразилії та ін.) і вітчизняних виробників продукції рослинництва, є застосування сидератів, одна тонна зеленої маси яких еквівалентна 0,5-0,7 тонн перегною.

Крім основного призначення сидерат, у разі правильного використання, має ще низку ефективних властивостей таких як захист ґрунту від ерозії, пригнічення росту бур'янів, покращення здатності утримування вологи в ґрунтовому шарі, контроль температурних коливань, відновлення циркуляції поживних речовин, додавання азоту біологічною фіксацією, розпушування ущільнення і покращення фізичних властивостей ґрунту, можливість зменшення проблем з комахами, шкідниками та хворобами ґрунту і культур, збільшення вмісту органічного вуглецю в ґрунті, сприяння розвитку ґрунтових організмів, забезпечення сприятливих умов для поглинання рослинами води і поживних речовин.

З урахуванням зазначеного, вітчизняними машинобудівниками та аналогічними підприємствами провідних країн світу для сівби сидератів пропонується технічне забезпечення, яке постійно розвивається і вдосконалюється. В Україні, як правило, для вирішення цього завдання вітчизняні машинобудівники пропонують звичайні сівалки та певну кількість машин для обробітку ґрунту. Тому, тема щодо удосконалення робочих органів комбінованих посівних агрегатів для сівби сидеральних культур на сьогодні є актуальною.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ

1.1. Аналіз сучасних техніко-технологічних рішень сівби сидератів.

Технологічний процес післяжнивної сівби сидеральних культур включає збирання зернових культур з одночасним подрібненням солом (важливо рівномірно розстелити її по полю). Зразу за цим, не допускаючи пересихання ґрунту, проводять поверхневий обробіток дисковими знаряддями. Тип і марку знарядь для дискування вибирають з урахуванням попередників, стану ґрунту, засміченості поля, його розмірів і конфігурації.

Дискування ґрунту проводять одночасно або після збирання попередника, але не пізніше ніж через 2-3 дні після збирання врожаю. Після проходу дискових борін на поверхні поля повинно залишатися не менше 55 % стерні [2].

У районах достатнього зволоження ефективною є мілка оранка на глибину 14-16 см. Склад орних агрегатів та режимів їхньої роботи вибирають залежно від стану ґрунту та попередника. Потім висівають, наприклад, гірчицю білу нормою 20-30 кг/га. Строки сівби у кожному конкретному регіоні вибирають з таким розрахунком, щоб для осінньої вегетації сидерату було близько 55-60 днів з температурою повітря вище 5⁰С, що відповідає календарним строкам сівби (на переважній більшості території України це період з 15 по 30 серпня) [6]. Сіють зерновими сівалками, використовуючи спеціальні сівалки СПР-6, або переобладнанні та герметизовані сівалки СЗТ-3,6А, ЗУ-3,6, СЗА-3,6, СЗЛ-3,6, а також овочеві. Наприклад, сівалку СЗТ-3,6А причіплюють до трактора, з'єднують гідросистему трактора з гідроциліндром сівалки. Насіння у ґрунт загортають сошниками, які шарнірно приєднують до поводків зернотукових сошників заднього ряду. Щоб відрегулювати норму висіву, встановлюють відповідну довжину робочої частини котушки та передатне відношення механізму, їхнього приводу. Є практичний досвід використання для сівби дрібнонасінневих культур розкидачів мінеральних добрив марок НРУ-0,5, МВД-900. Але ці розкидачі не забезпечують сталої сівби малими нормами, мають високу нерівномірність висіву

та пошкоджують насіння.

Після цього поле боронують і коткують. Післяпосівним коткуванням вирівнюють та ущільнюють поверхневий шар ґрунту, створюючи необхідні умови для кращого проростання насіння і появи сходів.

Коткують голчасто-шпоровими котками, приєднавши їх до зчіпок. Котки з гладкою поверхнею обов'язково агрегують із зубовими боролами. Поверхня поля після коткування повинна бути рівномірно ущільнена на глибину 4-6 см [20].

Оптимальна глибина загортання насіння складає 2-4 см [31]. Сидерати післяжнивної сівби загортають у ґрунт одним проходом дисків (жовтень-листопад); за високого та густого травостою (урожай понад 350 ц/га) – двома проходами, а передпосівний обробіток ґрунту під наступні ранні ярі культури складається з боронування (яке вирівнює поверхню) та коткування. Завдяки цьому створюються умови для проведення ранньої та надранньої сівби ярих ранніх культур.

Традиційно насіння дрібнонасінневих культур висівають зернотрав'яними та овочевими сівалками рядковим способом за різними схемами сівби, які не забезпечують сталої сівби малими нормами, мають високу нерівномірність висіву та пошкоджують насіння. Щодо обробітку ґрунту, то все залежить від його структури – якщо вона порушена і на поверхні велика кількість соломи, то проводять глибоке розпушення або оранку.

Сівба сидератів таким способом є неефективною з точки зору економічності та енергозбереження. Також існує досить суттєвий фактор переущільнення ґрунту у разі застосування двох агрегатів.

Найбільш поширеними схемами сівби сидеральних культур є такі:

- дискування і сівба звичайними сівалками та коткування;
- сівба комбінованими ґрунтообробно-посівними агрегатами модульного типу.

Звичайні зернові сівалки вітчизняного виробництва типу СЗТ (ПАТ «Червона зірка») (рис. 1.1), типу КЛЕН (МНСВП «Клен»), посівні комплекси «Хорш-Агро-Союз» АТД, АПК-5,7 Партнер (ПП «Українська аграрна техніка»),

СЗМ-4,0 Ніка (ПП ВКФ «Велес-Агро») та інших виробників, а також сівалки закордонного виробництва типу D (Amazone), серії Citon «Amazone», типу Soliter «Lemken» та інші забезпечують сівбу дрібнонасінневих культур у попередньо оброблений ґрунт та мають змогу одночасно з обробітком ґрунту сіяти [24].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд сівалки СЗТ-3,6А з пристроєм для сівби дрібнонасінневих культур

Перевагою сівби сидератів вказаними сівалками є можливість їх використання і на інших культурах, а недоліком – необхідність попереднього обробітку ґрунту та висока вартість [20].

Патентними та аналітичними дослідженнями ґрунтообробно-посівних агрегатів країн Європи та СНД виявлено, що запропоновані конструкційні рішення передбачають оснащення різними знаряддями ґрунтообробки, висівними апаратами в основному з сошниками для висіву рядковим способом та застосовуються в переважній більшості для зернових культур, а комбіновані агрегати у комплектуванні з розсіювачами – в основному для підґрунтового способу сівби. Це не відповідає технології висіву сидератів і рівномірність розподілу під час удару об пластину над поверхнею ґрунту не вивчена [3].

Деякі фірми «Vaderstad» у рамках фірменної стратегії обробітку ґрунту і сівби пропонують спеціальні посівні модулі, які можуть бути використані лише з ґрунтообробною машиною відповідної фірми. До таких спеціалізованих знарядь відноситься ґрунтообробно-посівна комбінація (Bio-Drill+Carrier) (рис. 1.2) [18].

На основі ґрунтообробного агрегата, на який навішується висівний модуль, фірма пропонує як механічну версію транспортування насіння до сошника (з

насіннєвим бункером на всю ширину захвату сівалки), так і пневматичну із централізованою пневматичною подачею насіння до сошника.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд ґрунтообробної комбінації Bio-Drill+Carrier фірми «Vaderstad» з механічною версією транспортування насіння до сошників

Для розподілу насіння фірма «Vaderstad» з пневматичною версією пропонує пристосування, зображене на рис. 1.4, яке представляє собою похилу круглу металеву площину, встановлену на виході повітряного потоку, який транспортує насіння.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд ґрунтообробної комбінації BioDrill+Carrier фірми «Vaderstad» з пневматичною версією транспортування насіння до сошників

Висівні модулі, як правило, виконуються за автономним принципом приводу. До таких модулів відносяться розробки фірми «Lehner» (Супер Varjo), «Ейнбок», «Джакобі Ротосем», «Technik Plus» (TurboJet), які використовують відцентровий принцип транспортування насіння від дозувального пристрою до ґрунтової поверхні, розкидаючи насіння сидератів з диска, який обертається. Іншими принципами транспортування насіння від дозувального пристрою до ґрунтової

поверхні є гравітаційний, коли дозоване насіння під силою тяжіння падає на ґрунтову поверхню, або пневмо-ударно-гравітаційний, коли дозоване насіння пневматично транспортується до розсівного пристрою, відбивається від його площин, орієнтованих певним чином у просторі, та під дією гравітації переміщується на модулі (наприклад, модуль Turbojet, фірми «Technik Plus», рис. 1.4).

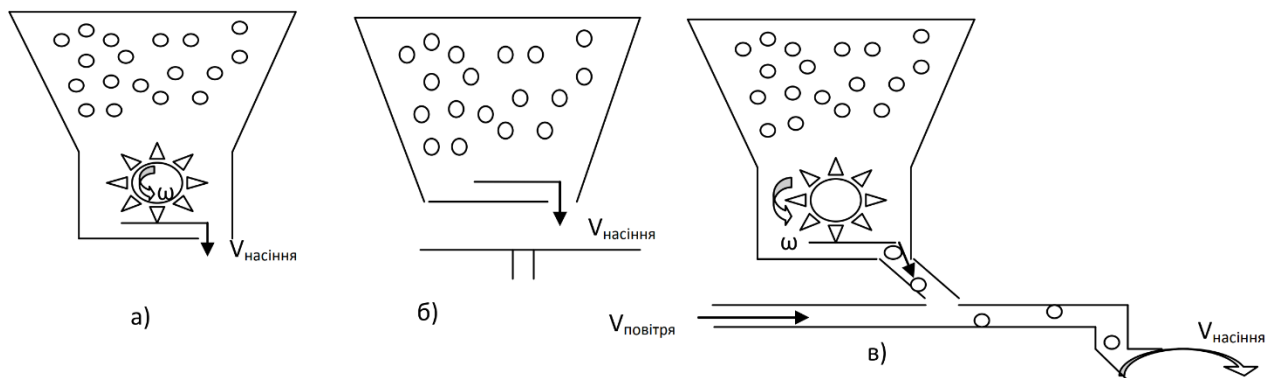


Рисунок 1.4 – Принципи транспортування насіння від дозувального пристрою до ґрунтової поверхні:

а) гравітаційної дії; б) відцентрової дії; в) пневмо-ударно-гравітаційної дії

Перевагою гравітаційних принципів транспортування насіння є простота технічного виконання, недоліком – висока нерівномірність глибини загортання насіння, на що впливає місце падіння насіння відносно дискових розпушувальних робочих органів, а також інерційність доставки насіння, залежна від висоти падіння.

Недоліками принципів транспортування відцентрової дії та налагоджень, є необхідність великих масивів тарувальних таблиць під різні культури.

Результати схожості насіння за такого принципу суттєво залежать від вологозабезпечення. Має місце висока нерівномірність розсіву насіння по робочій ширині ґрунтообробно-посівного агрегата.

Перевагою принципів транспортування на основі пневмо-ударно-гравітаційної дії є висока рівномірність розміщення насіння по площі, мала матеріаломісткість і простота конструкції модуля, виконаного на таких принципах [8, 11].

Відповідно до проведених аналітичних досліджень встановлено, що комбінований агрегат для сівби сидератів є більш ефективною машиною, в якій поєднуються операції обробітку ґрунту і сівби, ніж комплекс одноопераційних машин, які виконують таку операцію [17].

Як показує світовий досвід, ґрунтообробно-посівні агрегати оснащені системою керування висівом, яка включає систему GPS (визначення місцезнаходження) та електричну схему для обробки даних. керування здійснюється за рядами сошникових секцій, що не притаманно для висіву сидеральних дрібнонасіньєвих культур [4].

До таких знарядь слід віднести спеціалізовані агрегати, наприклад, Біо- Дріл фірми «Vaderstad». Цей агрегат має високу ефективність сівби сидеральних культур, але й високу вартість і може бути використаний лише фінансово потужним господарством. Проте деякі фірми (Супер-Варіо («Lehner»), TurboJet та ін.) пропонують автономні універсальні електро- та гідроприводні висівні модулі тарілчастого і катушкового типів (рис. 1.5), які навішуються на ґрунтообробний модуль, дообладнуються системою пневмотранспортування насіння та розсіювачами, що в комплексі забезпечує створення агрегатів для сівби сидеральних культур, але вони не в повній мірі забезпечують рівномірність висіву, що і є предметом для подальших досліджень [38].



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд висівного модуля тарілчастого і катушкового типів

Патентним та аналітичним пошуком дослідження розсіювачів виявлені загальні підходи, але цільових наукових досліджень розсіювачів та процесу розсіювання за цим принципом не встановлено. Представлені конструкції

розсіювачів різних модифікацій, які за аналізом експертних висновків не в повній мірі забезпечують рівномірність висіву, що і послужило базою для подальших досліджень.

Нами вибрано такий посівний модуль, у якому насіннєвий матеріал дозується катушковим механізмом, а принципом транспортування насіння від дозувального пристрою до ґрунтової поверхні обрано пневмо-ударно-гравітаційну дію (рис. 1.6) [4].

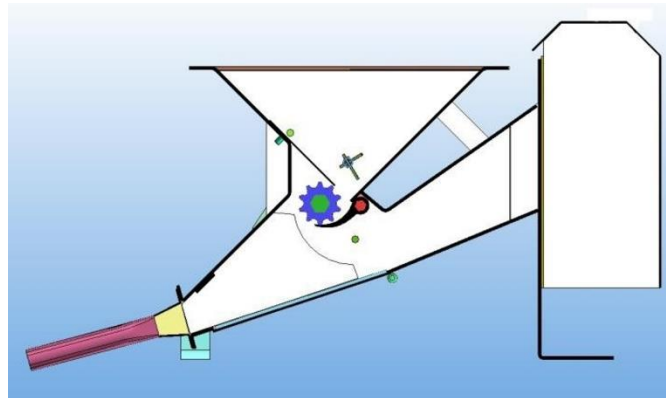


Рисунок 1.6 – Висівний модуль пневмо-ударно-гравітаційної дії з електроприводом

1.2. Аналіз результатів досліджень перспективних технічних рішень.

За результатами патентних та аналітичних досліджень запропоновано конструкційно-компонувальну схему комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата для сівби дрібнонасіннєвих культур [22].

Комбінований агрегат для сівби дрібнонасіннєвих культур складається з ходової системи 1, контрольованого бортового інформаційного комп'ютера 2, висівного модуля 3 з висівною катушкою 4 повітрянагрівача 5, який пневмомагістралями 6 транспортує насіння до тарілчастого розсіювача 8, 9 з кутами установки φ та розкриттям розтрубу β , ґрунтообробних секцій сферичних дисків 7 та прикочувального котка 10 (рис. 1.7).

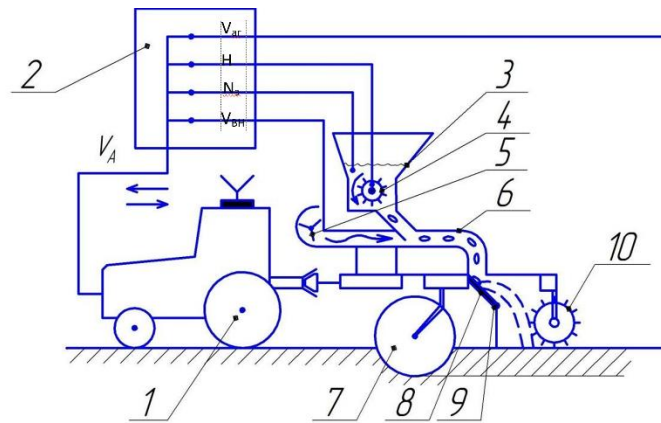


Рисунок 1.7 – Узагальнена схема комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата для сівби сидеральних культур

Технологічний процес комбінованого агрегата для сівби дрібнонасіненних культур протікає так: висівний апарат котушкового типу 6 видає встановлену норму насіння, яке транспортується потоком повітря, утвореного повітрянагнітачами 5 по пневмомагістралях 6 до тарілчастих розсіювачів 8, розміщених на секціях сферичних дисків 7. З тарілчастих розсіювачів насіння спадає потоком окремими локальними секторами завширшки l та сумарним захватом завширшки L ($L = \sum [l \times n - m(n-1)]$, де n – кількість розсіювачів; m – ширина перекриття локальних секторів), рівною ширині обробітку ґрунту секціями сферичних дисків, розподіляється по поверхні ґрунту, де загортається секціями сферичних дисків 7, встановлених на елементах рами. Зміна кутів регулювання тарілчастого розсіювача – установки α та розкриття розтрубу β , керує погодженням робочої ширини ґрунтообробного знаряддя і висівного апарата, можливістю регулювання місця внесення насіння в ґрунт, забезпеченням рівномірної по ширині агрегата норми насіння, знесенням висіяного матеріалу вітром [22].

Актуальним є забезпечення рівномірності розподілу насіння на поверхні ґрунту комбінованим ґрунтообробно-посівним агрегатом, оптимізуючи процеси руху агрегата та норми висіву і конструкційні параметри розсіювачів керування процесами інформаційно-керівним засобом.

На сьогодні дослідження технологічних процесів у комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатах з тарілчастими розсіювачами проведені не в

повній мірі, а тільки на емпіричному рівні, досліджувалися лише окремі процеси. Побудовою моделі руху МТА займалися такі вчені, як А.М. Емельянов, П.М. Василенко, В.П. Василенко, В.В. Гуськов, А.Т. Лебедев [19], хоча дослідження миттєвої швидкості в заданих координатах (x , y) не розглядалися детально.

Динаміку висівного апарата котушкового типу вивчали Л.В. Погорілий, П.В. Сисолін, Л.В. Аніскевич, А.І. Бойко, М.О. Свірень, Г.М. Бузенков, С.А. Мата ін. [1, 2, 4]. Проте недостатньо дослідженою є швидкість обертів висівної котушки відповідно до миттєвої швидкості агрегата в координатах (x , y).

Процес руху насіння в насіннєпроводі досліджували В.Ю. Молофеев, В.Б. Бойко, Г.М. Бузенков [25], розрахунок щільності розподілу насіння в поперечному перерізі насіннєпровода лишився поза увагою.

Процес розсіювання насіння після удару об розсівні пластини щодо підгрунтово-розкидної сівби зернових культур досліджували Г.М. Бузенков, Ю.К. Брандт, М.О. Свірень, Ю.Ф. Павельчук [6, 7].

В.І. Александров досліджував падіння насіння під час удару об ґрунт, використовуючи сівалки точного висіву [8]. Відбивання насіння від поверхні ґрунту є складним і важко описуваним процесом елементарної механіки, оскільки насіння – тіло неправильної форми з неоднаковими фізико-механічними властивостями – вдаряється об неоднорідне, складне за своїми фізико-механічними властивостями середовище – ґрунт. Це питання потребує більш глибоких досліджень розсіювання насіння дрібнонасінневих культур та щільності їх розподілу по площі поля.

1.3. Мета і завдання дослідження.

Метою досліджень є підвищення ефективності техніко- технологічного процесу сівби сидеральних культур поєднанням технологічних операцій ґрунтообробно-посівним агрегатом та удосконаленням конструкційних параметрів тарілчастого розсіювача.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання досліджень:

1. Провести аналіз сучасного стану техніко-технологічних рішень для висіву сидеральних культур;
2. Дослідити аналітичні залежності динаміки технологічного процесу комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата за показниками технологічності та якості;
3. Провести експериментальні дослідження комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата для сівби дрібнонасіньових сидеральних культур з експериментальним зразком тарілчастого розсіювача;
4. Визначити економічну ефективність застосування досліджуваного агрегата.

Висновки по розділу.

Аналіз перспектив розвитку рослинництва у системі землеробства України, дозволяє стверджувати, що використання сидеральних добрив є економічною та екологічною альтернативою забезпечення ґрунту необхідними поживними речовинами.

За результатами досліджень техніко-технологічних рішень для сівби сидератів та аналізу тенденцій розвитку світового ринку техніки, визначено що найбільш ефективними знаряддями такого напрямку є модульні ґрунтообробно-посівні агрегати, які забезпечують сівбу сидеральних культур одночасно з обробітком ґрунту.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Модель функціонування комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата.

Комбінований (модульний) КГПА (рис. 1.7), який для досягнення задачі формування визначеної норми висіву (незалежно від стійкості агрегата) та рівномірності розсіву насіння на визначеній площі, повинен синтезувати технологічний процес (узгодження технологічних операцій) за схемою [$\langle$ швидкість агрегата – задана норма висіву насіння $\rangle$ – $\langle$ транспортування насіння пневмопроводом та розсів тарілчастим розсіювачем (з визначеними раціональними параметрами) $\rangle$].

З урахуванням результатів відомих наукових досліджень [12, 13] та практичних рішень [12] такий підхід можна запропонувати як концепцію, яка реалізується за представленою системо-аналоговою моделлю КГПА (рис. 2.1).

Концепція і модель передбачають синтез двох блоків через систему інформаційно-керівного засобу (ІКЗ), тобто класичний (індуктивний) підхід до визначення взаємозв'язків окремими підсистемами об'єкта [14].

Перший блок функціональних показників технологічності працює за допомогою ІКЗ і забезпечує стабільність технології – досягнення встановленої норми висіву насіння N_z залежно від швидкості руху V_{ag} за вхідних параметрів N_z і V_{ag} .

Другий блок функціональних показників якості для дотримання рівномірності (щільності) розсіву насіння на оброблювані площі S за вихідними параметрами V_{ag} , N_z , програмним забезпеченням (на стаціонарі) визначає установку швидкості транспортування насіння $V_{ПН}$ у пневматичному насіннєпроводі, параметри тарілчастого розсіювача (кут розкриття пластини – β та установки його по висоті і ширині агрегата – H_a, L_a).

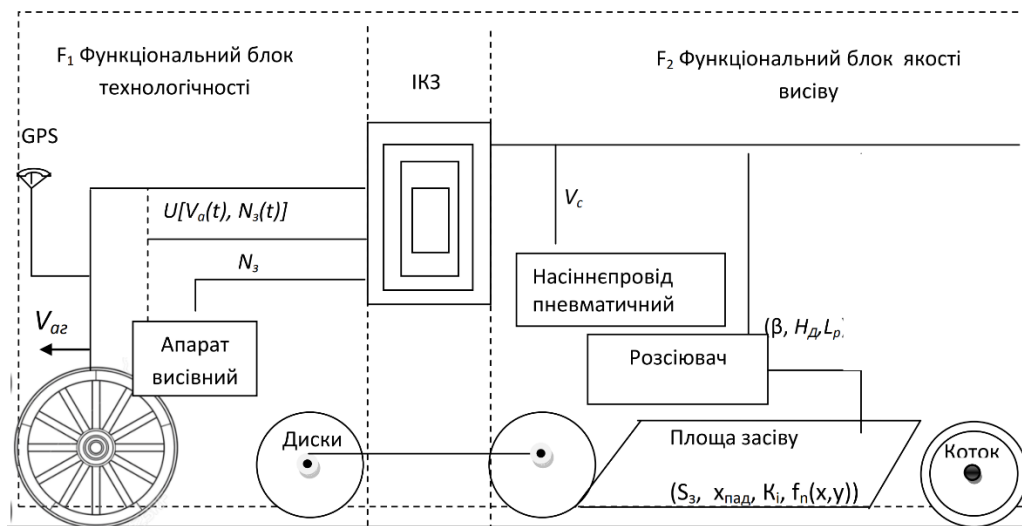


Рисунок 2.1 – Системо-аналогова модель комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата для сівби сидеральних культур з поєднанням блоків технологічності та якості

У нашому випадку концепція визначає послідовність технологічних процесів (поєднань) та автоматизоване керування режимами роботи складових модулів у реальному часі, відображає покроково узгоджений технологічний процес поєднань за критеріями системного узгодження вимог агротехнології (рис. 2.1).

До компонентів, які визначаються у дослідженні першого блоку, відносяться взаємопов'язані між собою параметри: швидкість руху агрегата V_{ag} та норма видачі насіння з бункера, яка залежить від кутової швидкості висівної катушки ω_r . Для підтримання сталості значень кількості посівного матеріалу і числа обертів висівної катушки зі зростанням або падінням швидкості руху V_{ag} посівного агрегата на окремих ділянках поля, змінюється час T його переміщення і необхідна продуктивність висіву для певної окремої ділянки, що визначає зміну кутової швидкості ω_r катушки.

Відповідно, до компонентів, які визначаються під час розгляду другого критерію, відносяться такі параметри: швидкість повітрянонасіневої суміші в насіннепроводі V_c , конструкційні параметри розсіювачів (кут розкриття β , висота розміщення розсіювача над полем H_d), від яких залежить забезпечення рівномірності розсіювання та щільність розподілу насіння по площі поля $f(x, y)$.

Запропонована модель для кожного складового блоку ГПА дозволяє забезпечувати синергетичні ефекти єдиного цілісного агрегата. За цих умов кожний окремий модуль КГПА відповідає перевагам технічного узгодження інтерфейсних з'єднань із сусідами та технологічної оптимізації нестационарних стохастичних процесів внутрішніх потокових поєднань параметрів у координатах «вхід, умова-вихід, дія».

Взаємодія між елементами, які у ланцюгах утворюють технологічне поєднання, потребує моделювати явища: статистики контактних обмінів; кінематики формотворення тіл, які контактують; динаміки руху та енергетичних обмінів, які, зачіпаючи матеріальні властивості внутрішніх складових, трансформують вхідні параметри у вихідні. Динамічні явища рухів (прямолінійних, криволінійних, обертових, коливальних та інших нелінійних) охоплюють широке коло елементів конструкції з різноманітними спектрами підсилення та дисипації форм енергії.

За нашою концепцією у варіанті КГПА для сидеральних культур технологічний процес обов'язково гарантує постійну (задану, бажану, керовану) норму та рівномірність висіву насіння на площі його робочої ширини. Цільові показники функціональної агротехнологічної ефективності КГПА в реальних умовах ризиків землеробства мають забезпечувати техніко-технологічні рішення та параметри елементів сільськогосподарської машини (СГМ). Визначальними є [13, 14] етапи, які включають випробування, налагодження, коригування, узгодження процедур покрокового технологічного перетворення параметрів, особливо пар взаємодії у вузлах інтерфейсних контактних з'єднань трьох взаємопов'язаних явищ: змін, дії та протидії.

2.2. Дослідження параметрів блоку технологічності.

Для дослідження технологічного процесу сівби дрібнонасінневих культур, який реалізується КГПА, важливим є побудова математичної моделі динаміки процесу для подальшої оптимізації як самого процесу, так і параметрів висівного апарата [25].

Моделювання включає розробку моделі динаміки руху КГПА полем, враховуючи відповідні сили тяги й опору, моменти повороту і моменти опору повороту трактора, а також розрахунки параметрів виходу посівного матеріалу з насіннєвого бункера, оцінки динаміки його руху насіннєспроводом до точки контакту з розсіювачем і формули розсіювання насіння на ґрунті після виходу з насіннєспроводу.

Отримані моделі дозволять визначити технічні параметри різних робочих пристосувань, які входять в КГПА, з точки зору їхньої узгодженості функціонування для якісного виконання завдання.

Дослідження динаміки руху комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата.

Теорія руху машинно-тракторного агрегата (МТА) досліджена достатньо глибоко [19]. Модель динаміки комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата в складі трактора (з колісною формулою 4К2) і посівного агрегата, адаптованої до умов криволінійного руху полем, доцільно побудувати за аналогією дослідження в роботі [10].

Спочатку визначаємо відповідні силові параметри. Дотична сила тяги заднього моста передається на остов трактора у вигляді рівнодійної сили P_k , яка спрямована вперед уздовж осі трактора. Ця сила передається на передній міст і передні колеса.

У зоні контакту керованих коліс із ґрунтом виникають реакції, рівнодійна яких R_k дорівнює тяговій силі $R_k = P_k$ і протилежно їй спрямована. Цю силу можна розкласти на дві складові. Складова R_f є силою опору коченню коліс. Складова $R_n = R_k \times \cos \alpha = P_k \times \cos \alpha$ визначає величину моменту повороту трактора на кут α навколо точки O :

$$M_n = R_n \times L = P_k \times L \times \cos \alpha \quad (2.1)$$

Граничне значення сили повороту P_n^{max} залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту і зчіпних властивостей коліс трактора:

$$R_n^{max} = G_n \times \varphi_k, \quad (2.2)$$

де G_n – сумарне вертикальне навантаження на трактор, Н; φ_k – коефіцієнт зчеплення з ґрунтом (завжди < 1).

Отже,

$$M_n = G_n \times \varphi_k \times L \times \cos \alpha \quad (2.3)$$

Крім того, на трактор під час повороту діють такі сили: відцентрова сила P_u , яка виникає внаслідок переміщення остова трактора з деякою кутовою швидкістю ω_n навколо центра повороту O_n ; дотичні сили P_{k3} , і P_{k4} тягових коліс, відповідно на колесах, які забігають і відстають; зусилля на гаку $P_{kp} = G_c \times f_k$, де G_c – вертикальне навантаження на колісну вісь сівалки, Н; f_k – коефіцієнт опору кочення коліс ґрунтом. Момент сили опору повороту M_{cn} навколо точки O – центра осі тягових коліс, визначаємо за формулою:

$$M_{cn} = R_f \times L \times \sin \alpha + P_u \times l_2 \times \cos \gamma_u + P_{kp} \times l_{kp} \times \sin \gamma + (P_{k3} - P_{k4}) \times B/2, \quad (2.4)$$

де γ_u – кут між напрямком дії відцентрової сили P_u і лінією, яка проходить через центр повороту O_n і точку O , град.; l_2 – відстань від задньої осі до веденого центра мас МТА, м; γ – кут між напрямком дії крюкової сили P_{kp} і осьовою лінією трактора, град; l_{kp} – відстань від задньої осі до зчіпного пристрою (гака), м; B – відстань між задніми тяговими колесами, м.

Сила опору коченню коліс R_f , складові якої будуть визначені нижче, залежить від властивостей ґрунту і вертикального навантаження на керовані G_n або тягові колеса.

Під дією поздовжньої складової крюкової сили $P_{kp} \times \cos \gamma$ відбувається перерозподіл навантаження по осях трактора. Вертикальне навантаження G_n на передню вісь, з урахуванням зусилля на гаку, розраховується за формулою:

$$G_n = G_n^0 - P_{kp} \cdot h_{kp} / (L + l_{kp}) \cdot \cos \gamma, \quad (2.5)$$

де G_n^0 – вертикальне навантаження на передню вісь без урахування крюкової сили, Н; h_{kp} – відстань від землі до точки причепа, м.

Основними силовими чинниками, які впливають на рух ГПА, є сили опору руху коліс МТА і дотична сила тяги, яка розвивається рушієм.

Сили опору руху кочення коліс R_f , обумовлені деформацією ґрунту колесами,

будемо визначати використовуючи формули з [5].

Тож для визначення сили опору коченню передніх тягових коліс з урахуванням повороту тягових коліс на кут α маємо вираз:

$$P_{nfi} = 0,5 \cdot G_{ni} \cdot \sqrt{\frac{G_{ni}}{kbD^2}} \cdot \cos \alpha, i=1,2, \quad (2.6)$$

де G_{ni} – вертикальне навантаження на i -те колесо, k – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, b – ширина ободу колеса, D – діаметр колеса. При цьому вважаємо, що $G_{ni} = G_n/2, i=1,2$.

А для тягових задніх коліс за аналогією з виразом (2.6) будемо мати:

$$P_{fi} = 0,5 \cdot G_{\varphi^3} \cdot \sqrt{\frac{G_{\varphi^3}}{kbD^2}}, i=3,4 \quad (2.7)$$

З відповідними розмірами ширини ободу - b та діаметру D задніх коліс. Також вважаємо, $G_{\varphi^3} = G_{\varphi}/2, i=3,4$.

Визначення дотичної сили тяги P_k , яка створюється на тягових колесах, проводимо так. Дійсна швидкість руху колеса дорівнює $V_d = V_T(1 - \delta)$, де V_T – теоретична швидкість руху, δ – коефіцієнт буксування.

Тягові сили, які передаються на передні колеса, з урахуванням повороту керованих коліс на кут α , будемо обчислювати за формулами:

$$P_{nki} = G_{ni} \cdot \cos \alpha, i=1,2. \quad (2.8)$$

Враховуючи сказане вище, побудуємо математичну модель криволінійного руху ґрунтообробно-посівного агрегата.

Для опису руху посівного машинно-тракторного агрегата маємо три узагальнені координати – змінні координати x, y центра ваги трактора і кут β розташування поздовжньої осі трактора щодо осі Ox .

Закони руху, які встановлюються, запишемо так:

$$x = f_1(t), y = f_2(t), \beta = f_3(t). \quad (2.9)$$

Розв'язання рівнянь дає змогу обчислювати координати x, y місця розташування центра мас КГПА на місцевості, напрям сили тяги (основної осі руху) β у системі координат відносно і миттєву швидкість його центра мас:

$$V_{az} = \sqrt{(x \cdot \cos\beta)'_t^2 + (y \cdot \sin\beta)'_t^2} \quad (2.10)$$

Отримане значення V_{az} у межах визначених координат або на i -й ділянці V_{agi} необхідно буде враховувати надалі під час моделювання технологічного процесу сівби для керування висівним апаратом і досягненням необхідної нерівномірності розсіювання насіння.

Дослідження динамічних параметрів висівного апарата котушкового типу.

Тут обґрунтовуємо аналітичні вирази для розрахунків параметрів елементів висівного апарата КГПА (рис. 2.2), які реалізують відповідну динаміку висівної котушки залежно від швидкості агрегата V_{az} на кожній i -й ділянці та дають можливість точніше визначати витрати посівного матеріалу з урахування його наближення до заданої норми висіву [28].

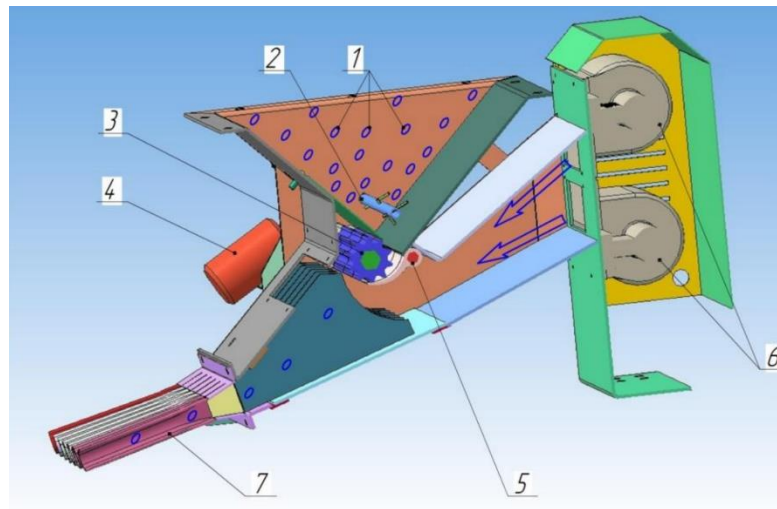


Рисунок 2.2 – Схема котушкового висівного апарата:

- 1 – насіння, 2 – мішалка, 3 – котушка, 4 – електродвигун з редуктором,
5 – пластикова лопатка, 6 – вентилятор, 7 – металеві трубки

Висівний агрегат працює так: насіння у бункері постійно переміщується мішалкою для рівномірного надходження його до дозувальної котушки. Необхідну швидкість обертання котушки забезпечує електродвигун із редуктором. До котушки прилягає пластикова лопатка, яка може відхилятися, змінюючи цим самим величину проміжку для проходу насіння. Після дозування посівний матеріал

подається повітряним потоком, який створюють два вентилятора, через металеві трубки до насіннєпроводів [28].

Кутову швидкість обертання висівної котушки ω_k будемо визначати за умови забезпечення висівання кількості насіння на одиницю площі N_r , близьку до заданої норми висіву N_z . Уведемо систему координат xOy , вісь Ox якої проходить по осі обертання вала висівної котушки. До вала котушки радіуса r_k прикладені, згідно з [12], зовнішні сили: сумарна вага котушки із захопленим її жолобками насінням $P_\Sigma = P_k + P_c$, нормальна реакція підшипників R_n і сила тертя ковзання F , прикладена до вала котушки в точках, де передається тиск вала на підшипники, і спрямована проти дотичної швидкості $V = \omega_k \cdot r_k$ у цих точках. Враховуємо також, що керованим електродвигуном створюється момент сил M_{ed} , необхідний для подолання сил тертя і підтримки стабільного рівномірного обертання котушки. Зауважимо, що вал котушки обертається в підшипниках з коефіцієнтом тертя ковзання f_{mp} .

Оскільки сили P_Σ і R_n перетинають вісь обертання вала котушки перпендикулярно до неї, їхні моменти щодо цієї осі дорівнюють нулю. Момент відносно осі вала котушки висіву матиме тільки сила тертя F , рівна по модулю $F = f_{mp} \cdot R_n$. Зважаючи, що сила реакції підшипників фактично дорівнює сумарній вазі котушки з насінням, тобто, $R_n \approx P_\Sigma$, маємо: $F = f_{mp} \cdot P_\Sigma = f_{mp} \cdot (P_k + P_c)$.

Визначимо момент інерції котушки з насінням у жолобках як момент інерції однорідного циліндричного вала маси $m_b = \frac{P_k + P_c}{g}$ і радіусом r_k :

$$I_k = \frac{m_b \cdot r_k^2}{2} = \frac{(P_k + P_c) \cdot D_k^2}{8 \cdot g}, \quad (2.11)$$

де g – прискорення вільного падіння, а D_k – діаметр висівної котушки.

Кутову швидкість ω_r висівної котушки (або число обертів за одиницю часу), необхідну для видачі посівного матеріалу в кількості, яка забезпечить висів на ґрунт поля площею S , обчислимо, виходячи із заданої норми висіву N_z (кількість насіння на одиницю площі в $г/м^2$ або $шт/м^2$) і роботи посівного агрегата, який рухається зі швидкістю V_{ag} . Для цього визначимо згідно з [28] такі параметри:

- кількість насіння, яку виштовхує катушка з насіннєвого бункера за 1 оберт:

$$q_0 = 10^{-6} (S_{\text{ж}} \cdot Z \cdot \mu + \pi \cdot D_{\text{к}} \cdot C_1 \cdot (1 - e^{-b_0}) / b_0) \cdot L_r \cdot \gamma_{\text{п.м.}}, \quad (2.12)$$

де $S_{\text{ж}}$ – площа поперечного перерізу жолобка, мм²; Z – кількість жолобків; μ – коефіцієнт заповнення жолобків посівним матеріалом; C_1 – зазор на виході між катушкою і дном бункера, мм; e – основа натурального логарифма; b_0 – коефіцієнт пропорційності (для дрібного насіння 0,2...0,25); L_r – робоча довжина катушки, мм; $\gamma_{\text{п.м.}}$ – об'ємна маса посівного матеріалу, г/дм³;

- необхідну продуктивність висіву (в г/с) за шириною посівного агрегата B :

$$Q_3 = B \cdot V_{\text{аз}} \cdot N_3. \quad (2.13)$$

Виходячи із заданої норми N_3 , на полі площею S потрібно висіяти загалом кількість посівного матеріалу H , яка визначається співвідношенням:

$$H = N_3 \cdot S. \quad (2.14)$$

Визначаємо розрахункове число обертів висівної катушки θ_r , необхідне за умовами технології для внесення посівного матеріалу:

$$\theta_r = H / q_0. \quad (2.15)$$

Час T_i для технологічної обробки ділянки поля площею ΔS_i , посівного агрегата з шириною захвату B , який рухається на цій ділянці зі швидкістю $V_{\text{аз}}$, визначимо з виразу:

$$T_i = \Delta S_i / (B \cdot V_{\text{аз}_i}). \quad (2.16)$$

Знання i -ї зміни швидкості $V_{\text{аз}}$ посівного агрегата дасть змогу обчислити згідно з (2.29) на певній ділянці поля необхідну продуктивність висіву насіння $Q_{3i} = B \cdot V_{\text{аз}_i} \cdot N_3$, що дає можливість визначити за заданою нормою висіву необхідну для i -ї ділянки поточну витрату посівного матеріалу:

$$H_{3i} = Q_{3i} \cdot T_i. \quad (2.17)$$

Отже, можна визначити для висівної катушки відповідну реальну кутову швидкість ω_{r_i} на кожній i -й ділянці:

$$\omega_{r_i} = H_{3i} / (q_0 \cdot T_i), \quad (2.18)$$

яка дасть змогу їй видати з насіннєвого бункера необхідну за розрахунковою технологією кількість посівного матеріалу.

2.3. Дослідження параметрів блоку якості розсіювання насіння.

Відповідно до розробленої концепції критерій блоку якості процесу включає компоненти: швидкості транспортування насіння $V_{\text{пн}}$, та конструкційних параметрів розсіювачів β , H_d , від яких залежить щільність і рівномірність розподілу насіння на площі поля $f(x, y)$.

Динаміка руху насіння у пневматичному насіннєпроводі.

До наведеної вище моделі динаміки руху посівного МТА і розрахунків параметрів висівної котушки оцінимо параметри динаміки руху насіння насіннєпроводом з урахуванням досліджень [25].

Зокрема, досить загальний підхід до побудови такої моделі наведено в [25], де в повній мірі на базі теорії гідродинаміки описаний нелінійний динамічний процес взаємодії дози насіння щільністю ρ і внутрішнім тиском P , яка рухається зі швидкістю V_c насіннєпроводом під дією потоку повітря з повітронагнітача, швидкість якого $V_{\text{пн}}$ [25].

У нашому випадку спрощуємо побудову моделі, відкидаючи силові реакції, які загалом доповнюють повноту інтерпретації фізичного процесу, але реально їх важко врахувати й істотного впливу на його динаміку вони не мають [2]. Метою такого підходу до побудови математичної моделі є визначення в явному вигляді виду функції щільності розподілу насіння в поперечному горизонтальному перерізі на виході з насіннєпроводу.

Розглянемо рух насіння після виносу його котушковим висівним апаратом з бункера в насіннєпровід. Аналогічно з [25] вважаємо, що потік насіння під час руху насіннєпроводом у гравітаційному полі землі має статистичну природу та за взаємодії насінин підпорядковується закону рівнорозподілу енергії.

Для визначення спільної дії сил гравітації і зіткнень під час переміщення насіннєпроводом виходимо із статистичної природи руху насіння. Розглянемо механічну систему з N насінин. Її стан характеризується набором значень координат

насіння $r = \{q_1, q_2, \dots, q_{3N}\}$ і пов'язаних з ними імпульсів $p = \{p_1, p_2, \dots, p_{3N}\}$. Безліч точок r утворює простір конфігурацій $K(r)$, а безліч точок p – простір імпульсів $K(p)$. Сукупність обох просторів $K(r) \times K(p)$ називається фазовим простором $K(r, p)$. Стан точки (однієї насінини) у фазовому просторі системи характеризується 6-ма величинами: 3-ма координатами і 3-ма проекціями імпульсу [5].

Нехай f – деяка функція, яка відображає розподіл насіння, тобто розподіл їхніх імпульсів і координат у фазовому просторі системи з N частинок. Складемо повну похідну від неї за часом:

$$\frac{df}{dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial q_i} \dot{q}_i + \frac{\partial f}{\partial p_i} \dot{p}_i \right). \quad (2.19)$$

Усвідомлюючи аналогію постановки цієї задачі з задачею з [6], скористаємося отриманими там результатами для визначення вигляду функції розподілу насіння у горизонтальному перетині на виході з трубки насіннєпроводу.

У поперечному перетині трубки насіннєпроводу з радіусом R_c в горизонтальній площині на виході з нього для функції розподілу дози насіння, яка попадає в цей переріз, із сумарною потенційною енергією $U(x, y, z)$ маємо формулу:

$$f = \frac{1}{\pi \cdot R_c^2} \cdot e^{-\frac{U(x, y, z)}{2E_s}}, \quad (2.20)$$

де E_s – усереднене значення кінетичної енергії цієї дози насіння, яка припадає на перпендикулярну до повздовжнього руху складову.

Зі зміною кута нахилу насіннєпроводу відносно вертикальної осі вертикальну силу, викликану гравітаційним полем, можна розкласти на дві складові: $m \cdot g \cdot \sin\theta$ – для горизонтальної і $m \cdot g \cdot \cos\theta$ – для вертикальної осі.

Тоді для потенційної енергії в площині перетину насіннєпроводу, наприклад, по осі $0x$ – $U(x) = x \cdot m \cdot g \cdot \sin\theta$, а по осі $0z$, враховуючи 6-мірний фазовий простір системи насінин, $U(z) = E_s = \alpha \cdot z_0 \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta / 6$, де α – коефіцієнт, який враховує втрати під час зіткнень, z_0 – значення висоти падіння насінин на тарілчастий розсіювач з моменту входу в насіннєпровід. Підставляючи ці значення у формулу, отримаємо функцію щільності розподілу насіння на виході для поперечного перерізу насіннєпроводу:

$$f(x, y) = \frac{1}{\pi R^2} \cdot e^{-\frac{3 \cdot x \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\alpha \cdot z_0}} \quad (2.21)$$

Прийmemo, що вихід насіння з насіннєпроводу розглядається в горизонтальній площині. Ми маємо на виході в поперечному перерізі насіннєпроводу функцію щільності розподілу насіння, близьку до щільності нормального (Гаусового) розподілу. Тому впливає, що за $\theta=0$ щільність розподілу насіння у поперечному перерізі рівномірна.

У разі, якщо $\theta \neq 0$, то за малого x і досить великого значення величини z_0 відносно x розподіл насіння також можна вважати рівномірним.

Дослідження параметрів тарілчастого розсіювача.

Відповідно до задач досліджень необхідно розрахувати ширину смуги розсіву під час руху КГПА, визначивши найбільшу відстань відскакування насіння після падіння на нижню пластину розсіювача [7].

З результатів попереднього розділу впливає, що щільність розподілу дози насіння, яке падає на пластину розсіювача тарілчастого типу, в поперечному перерізі близька до нормального закону, а за малого або нульового φ – до рівномірного.

Для подальшого вивчення руху насіння введемо нерухому прямокутну систему координат $Oxyz$ (рис. 2.3). Точка O збігається з положенням проекції центра мас насіння на площину ґрунту в момент часу $t=0$. Осі Ox і Oy – горизонтальні, вісь Oz – вертикальна (її позитивна напіввісь спрямована вгору).

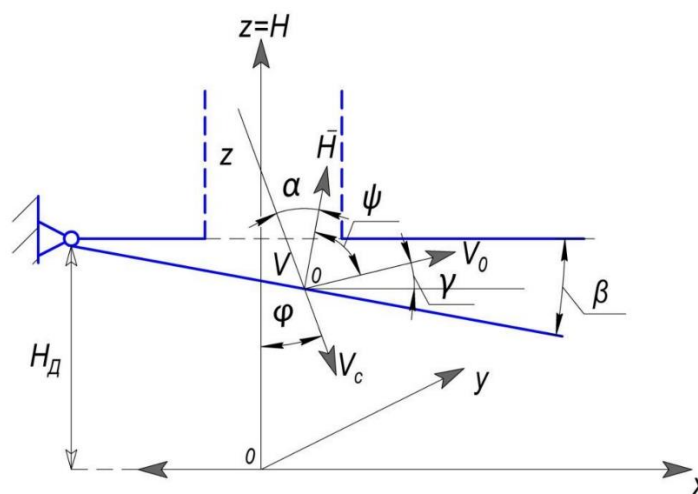


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема руху насіння в тарілчастому розсіювачі

Для визначення розмірів смуги розсіювання насіння дрібнонасіннєвих культур з урахуванням опору повітря використовуємо методику розрахунків, представлену в [6] і засновану на формулах теорії удару [27]. У [6] відзначимо, що «... визначити параметри відскоку з урахуванням дійсної форми насіння аналітичним шляхом практично не вдається». Тому «... спочатку вивчається закон руху насіння під час їхнього вільного падіння, а потім з урахуванням опору середовища під дією вертикально спрямованої початкової швидкості – закон відбиття насіння ...»

Виводячи формули для розрахунків, будемо враховувати: швидкість насіння V_c , яке падає на тарілку із насіннепроводу під кутом θ довертикальної осі Oz (тобто кут виходу насіння із насіннепроводу), кут нахилу тарілкової пластини до поверхні землі β ; швидкість руху посівного МТА – V_{az} ; кут відскоку θ насіння в горизонтальній площині xOy відносно напрямку руху МТА, а також висоти установки розсіювача над поверхнею поля H_d .

Визначаємо початкову швидкість V_0 , яку набуло насіння після удару об пластину. Визначаючи швидкість V_0 , враховуємо коефіцієнт відновлення k , який характеризує [27] втрати механічної енергії насіння під час удару на необоротну деформацію, коливання, нагрівання тощо і визначається експериментально.

З огляду на кут нахилу пластини сходження розсіювача β і кут виходу насіння з насіннепроводу θ , кут падіння α (утворений вектором швидкості центра мас насіння V_c з нормаллю до поверхні пластини) буде дорівнювати $\alpha = \beta + \theta$. Тоді, відповідно до теорії удару [27], початкова швидкість відбитих від пластини розсіювання насіння буде обчислюватися за формулою:

$$V_0 = \frac{k \cdot V_c \cdot \cos \alpha}{\cos \psi}, \quad (2.22)$$

де кут ψ , який зветься кутом відбиття, є кутом між вектором швидкості V_0 і нормаллю до пластини в точці падіння на неї насіння. За таких умов кути падіння і відбиття перебувають у залежності $\operatorname{tg} \psi = \frac{1}{k} \cdot \operatorname{tg} \alpha$ і оскільки $k < 1$, то $\operatorname{tg} \psi > \operatorname{tg} \alpha$. Звідки витікає, що кут відбиття більший за кут падіння $\psi > \alpha$, що підтверджено в дослідженнях [29].

Для визначення дальності польоту насіння за $z=0$ отримаємо рівняння:

$$z = x \cdot tg\gamma - \frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V_0^2 \cdot \cos^2 \gamma} + H_D. \quad (2.23)$$

вирішуючи яке відносно x , обчислюємо $x_{\text{пад}}$ – величину відстані відскоку насіння від точки удару по тарілчастій пластині без урахування сил опору повітря:

$$x_{\text{пад}} = \frac{V_0 \cdot \cos \gamma \cdot \left(V_0 \cdot \sin \gamma + \sqrt{V_0^2 \cdot \sin^2 \gamma + 2 \cdot g \cdot H_D} \right)}{g}. \quad (2.24)$$

Час попадання насіння на ґрунт з висоти H :

$$t_{\text{пад}} = \frac{V_0 \cdot \sin \gamma + \sqrt{V_0^2 \cdot \sin^2 \gamma + 2 \cdot g \cdot H_D}}{g}. \quad (2.25)$$

Швидкість V_c на виході з насіннепроводу визначаємо з умови вільного пересування насіння (нехтуємо тертям насіння об стінки насіннепроводу) під кутом нахилу насіннепроводу φ відносно вертикальної осі з висоти $H_{\text{ва}}$ – виходу насіння з насінневого бункера до падіння на тарілчастий дозатор і з початковою швидкістю $V_{\text{пн}}$, заданою повітрянагнітачем під час виходу з насінневого бункера, за формулою:

$$V_c = \sqrt{V_{\text{пн}}^2 \cdot \cos^2 \varphi + 2 \cdot g \cdot H_D} \quad (2.26)$$

Важливими для формування щільності розподілу насіння на ґрунті є параметри положення тарілчастого дозатора: H_D – висота розміщення дозатора над ґрунтом і β – кут нахилу пластини розсіювання.

Величину кута β_θ визначаємо за формулою:

$$\beta_\theta = \arctg(\cos \theta \cdot tg \beta), \quad (2.27)$$

яка за $\theta = 0^\circ$ дає: $\beta_\theta = \beta$, а за $\theta = \pm 90^\circ$: $\beta_\theta = 0$.

У [6] досить детально викладається загальний випадок, у якому визначається вигляд рівняння руху центра маси групи насіння, яке розсіюється. Тому наведемо лише формули, необхідні для пояснень вигляду смуги розсіювання в нашому випадку.

На практиці швидкість руху посівного МТА перебуває в межах 8,0-12,0 км/год. Це відповідає 2,2-3,3 м/с. А швидкість повітрянагнітача змінюється в

межах 10-14 м/с. З [6] дізнаємося, що «... встановлено експериментально, на швидкостях 10-12 м/с зерна, опір повітря прямо пропорційний його швидкості, тобто $f(V) = \lambda \cdot V$ ».

Кут падіння насіння на ґрунт буде визначатися за формулою:

$$\arctg \dot{z}/_{x=x_{\text{пад}}} = \arctg \frac{\sqrt{V_{z0}^2 + 2gH_{\text{д}}}}{V_{x0}}, \quad (2.28)$$

що дає можливість визначити напрямок відскоку насіння.

Отже, за наведеними формулами можемо розраховувати розмір смуги розсіювання насіння дрібнонасінневих культур без урахування опору повітря, кутів θ відскоку насіння від пластини в боки та врахуванням формул для розрахунків швидкості насіння V_c , яке падає на тарілку з насіннєпроводу і визначенням початкової швидкості V_0 , якої набуло насіння після удару об пластину.

Результати аналітичних розрахунків комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата сидеральних дрібнонасінневих культур.

Аналітичне моделювання функціонування технологічного процесу комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата, в цьому випадку з шириною захвату $B=8$ м, за норми висіву $N_3=20$ кг/га із параметрами висівної катушки: площа поперечного перерізу жолобка $S_{\text{жс}}=630$ мм²; кількість жолобків $Z=10$, зовнішній діаметр катушки $D_{\kappa}=59,4$ мм, зазор на виході між катушкою і дном бункера $C_1=20$ мм, довжина катушки $L_r=365$ м відповідає математичній моделі за рівняннями наведеними вище, результати яких представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати аналітичних розрахунків комбінованого
грунтообробно-посівного агрегата сидеральних дрібнонасінневих культур

№ п/п	Назва параметру	Отриманий результат
1	Швидкість КГПА в координатах місця розташування	$V_{az}=2,2$ м/с
2	Кутова швидкість на кожній i -й ділянці для висівної катушки	$\omega_{ri}=350$ об/хв
3	Швидкість повітрянасінневої суміші на виході з насіннепровода на початковій швидкості, заданій повітрянагнітачем під час виходу з насінневого бункера $V_{пн}=12$ м/с, м/с; куту нахилу насіннепровода відносно вертикальної осі $\varphi=0^0$, висоті виходу насіння з насінневого бункера до падіння на тарілчастий дозатор $H_{BA}=0,5$ м	$V_c=12,4$ м/с
4	Величина відстані відскоку насіння від точки удару по тарілчастій пластині без урахування сил опору повітря (ділянка розсіювання) x_{nad} на початковій швидкості відбитих від пластини розсіювання насінин $V_0=2,27-3,72$ м/с; висоті установки розсіювача на агрегаті $H_d=0,44-0,64$ м; коефіцієнті відновлення $k=0,17$; кутах відбиття насіння $\psi=22,29^0-58,63^0$; кутах падіння $\alpha=0,6^0-39,4^0$; кутах між вектором початкової швидкості $\overline{V}_0$ і віссю Ox , паралельній поверхні ґрунту $\gamma=15,8^0-76,4^0$; кутах відскоку насіння в боки від нижньої пластини розсіювача $\theta=0^0-180^0$; кутах нахилу пластини розсіювача відносно горизонтальної площини для цих насінин $\beta_\theta=0,6^0-17^0$	$\beta=5^0$ $x_{nad}=0,08-0,76$ м $S_r=0,31-0,41$ м ² $\beta=11^0$ $x_{nad}=0,23-1,49$ м $S_r=1,4-1,52$ м ² $\beta=17^0$ $x_{nad}=0,41-1,8$ м $S_r=2,49-2,97$ м ²

Висновки по розділу.

Теоретичні дослідження функціонування технологічного процесу комбінованого грунтообробно-посівного агрегата для висіву сидеральних культур дозволяють зробити такі висновки:

1. Запропонована модель функціонування комбінованого грунтообробно-посівного агрегата, що передбачає синтез двох блоків через систему інформаційно-керівного засобу. Агрегат повинен через ІКЗ забезпечити поєднання роботи двох функціональних блоків: технологічності, тобто забезпечення установленної норми

висіву у разі зміни швидкості агрегата та блоку якості висіву, що визначається параметрами повітряного насіннєпроводу і тарілчастого розсіювача.

2. Отримано математичні моделі технологічного процесу відповідно до розробленого алгоритму синтезу показників функціональних блоків і схеми управління; визначаються різницею показників двох блоків оптимізуючи залежність норми висіву від руху комбінованого агрегата, роботи катушкового апарата і рівномірності розсіювання, що є похідною від параметрів і режимів роботи насіннєпроводу й тарілчастого розсіювача.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Схема експериментальної установки та обґрунтування принципів взаємодії технологічних модулів.

Для досліджень параметрів і режимів роботи висівних конструкційних елементів КГПА запропонована схема експериментальної установки (рис. 3.1), яка, копіюючи реальне функціонування висівних конструкційних елементів КГПА, повинна працювати так: з бункера насіння 1 подається дозатором 2 у пневмомагістраль 4, у яку повітрянагнітачем 12 нагнітається повітряний потік з можливістю зміни його рівня швидкості регулятором потоку повітря 13 [10]. Далі повітряний потік транспортує насіння до тарілчастого розсіювача з регульованим розсіювачем 6, у якому регулятором 11 забезпечується можливість установки кута розкриття β .

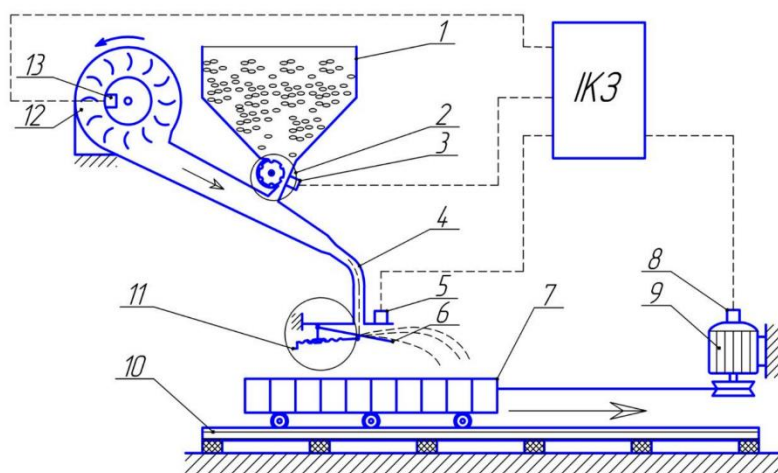


Рисунок 3.1 – Конструкційно-функціональна схема експериментальної установки

Схема взаємодії елементів ІКЗ експериментальної установки представлена на рис. 3.2.

Запускаємо систему за допомогою блоку живлення під час імітації руху агрегата, датчик фіксує імпульси та дані швидкості передає на контролер, який, зі свого боку, передає їх на ІКЗ, із датчика приведення висівного агрегата у робочий стан через блок силової автоматики подається сигнал на ІКЗ, система включає

процес висіву; датчик швидкості потоку насіння також через блок силової автоматики передає дані на ІКЗ, яка кількість насіння вийшла за один оберт катушки. Дані, які надходять на ІКЗ, синхронізуються, обробляються та виводяться на екран.

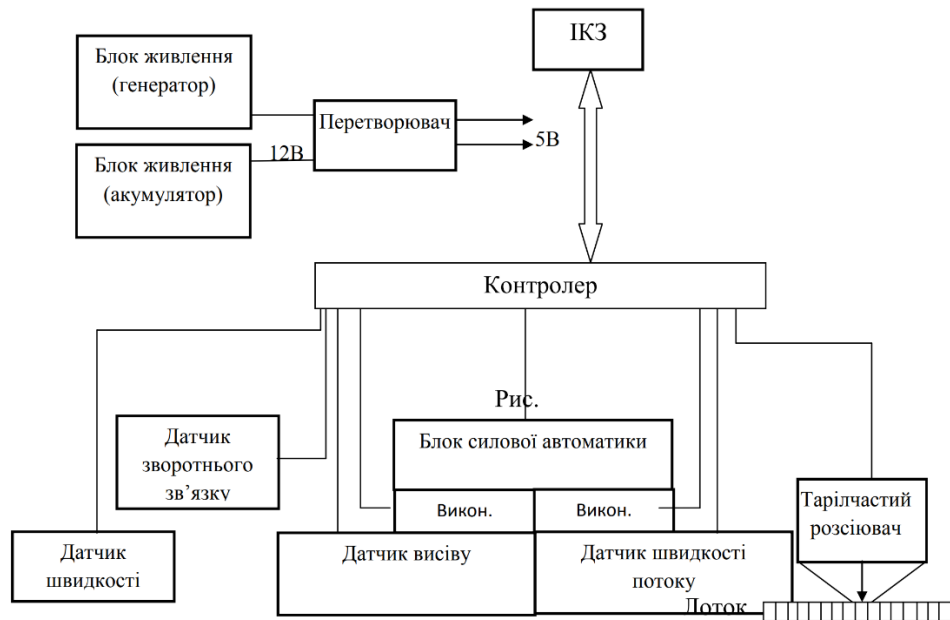


Рисунок 3.2 – Схема взаємодії елементів ІКЗ експериментальної установки

Для проведення досліджень на експериментальній установці необхідно за автоматично встановлених $V_{ag}(t)$ та $\omega_k(t)$ послідовно задавати різні значення: швидкість повітряного потоку V_{nn} , висоту розміщення дозувального елемента H_d та кут нахилу нижньої пластини тарілчастого розсіювача β . Водночас визначається площа розсіювання та щільність заповнення лунок лотка. Варіювання дій проводиться в такій послідовності:

1. Фіксуються значення H_d та β і, змінюючи швидкість повітряного потоку V_{nn} від 4,0 м/с до 14 м/с з кроком 2 м/с, визначаються площа розсіювання та кількість насінин, які впали у лунки лотка, отриманої епюри розсіювання.

2. Фіксуються значення V_{nn} та β і, змінюючи висоту H_d від 0,4 м до 0,6 м з кроком 0,1 м, визначаються згадані величини.

3. Фіксуються значення V_{nn} та H_d і, змінюючи кут нахилу нижньої пластини розсіювача β від 5° до 17° з кроком 6° , визначаються величини.

3.2. Визначення параметрів функціонального блоку технологічності (швидкості агрегата і норми висіву насіння).

З урахуванням досліджень [1, 19] виходячи з того, що швидкість посівного агрегата може змінюватися в межах $V_{ag}=2,2-3,3$ м/с, нами запропоновані параметри висівного модуля, які забезпечують роботу за норми висіву $N_z=20$ кг/га і ширині комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата $B=8$ м для сівби дрібнонасінневих культур: площа поперечного перерізу жолобка $S_{жс}=630\text{мм}^2$; кількість жолобків $Z=10$, зовнішній діаметр катушки $D_k=59,4\text{мм}$, зазор на виході між катушкою і дном бункера $C_1=20$ мм, довжина катушки $L_r=365$ мм, оберти катушки $\omega_r=5,8$ об/с (350 об/хв.).

За формулою наведеною в другому розділі розраховали кількість насіння, видану катушкою за один оберт, яка складає 500-670 шт/об (2 г/об).

Кутову швидкість катушки визначаємо з урахуванням зміни швидкості агрегата та норми висіву. Дані представлено нарис. 3.3 та 3.4.

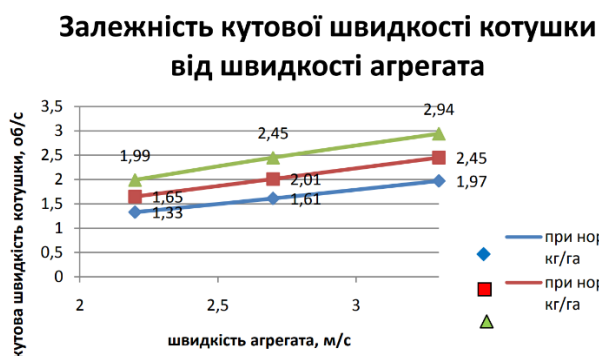


Рисунок 3.3 – Залежність кутової швидкості катушки від швидкості агрегата

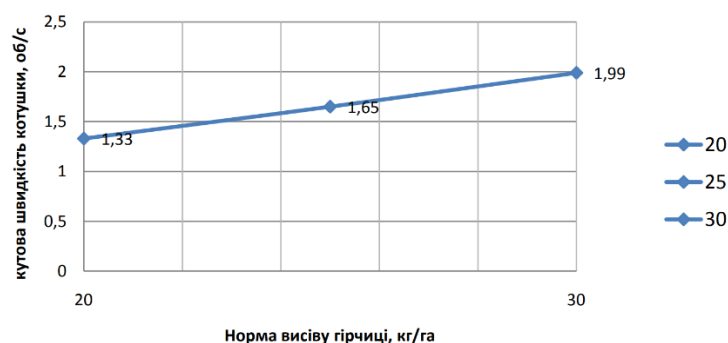


Рисунок 3.4 – Залежність кутової швидкості катушки від норми висіву гірчиці за швидкості агрегата $V_a=2,2$ м/с

Очевидно, що для збереження заданої норми висіву зі збільшенням швидкості руху агрегата кутова швидкість котушки повинна збільшуватися.

Витрати зерна регулюються, враховуючи коефіцієнт передачі моделі висівної системи та керівний вплив привода регулятора інтенсивності потоку насіння. З урахуванням [19] визначаємо керівний вплив на привід регулятора інтенсивності потоку насіння та задаємо передавальну функцію інформаційно-керівному засобу [1].

3.3. Визначення параметрів функціонального блоку якості висіву сидеральних культур.

Дослідження висіву та розподілу насіння на експериментальній установці.

Враховуючи розрахунок ділянки розсіювання та вплив параметрів на нього, було проведено експериментальні дослідження, поставлений дослід зі змінним кутом розкриття тарілчастого розсіювача β , висотою встановлення розсіювача H_d та швидкістю повітряного потоку V_c .

Висівний модуль приводили в робочий стан мотор-редуктором. Дослідний лоток (2м x 0,3м) встановили на рейкову конструкцію для імітації руху агрегата. Варіювали чинниками, які впливають на якість розсіювання насіння: кут розкриття розсіювача β (5° , 11° , 17°), швидкість повітряного потоку V_c (10м/с, 12 м/с, 14 м/с) та висота розміщення тарілчастого розсіювача H_d (0,44м, 0,54 м і 0,64 м).

Дальність польоту і загальна характеристика розсіву насіння.

Враховуючи досліджені параметри котушки та швидкості агрегата, визначаємо параметри елементів КГПА, які забезпечують якість розсіювання насіння, тобто характер розподілу на поверхні ґрунту та формування необхідної щільності розподілу насіння, яка забезпечує задану норму висіву теоретичними розрахунками.

Розглядаються такі параметри: V_{nn} – швидкість повітряного потоку на виході з насіннепроводу; H_d – висота розміщення дозатора над ґрунтом і β – кут нахилу пластини розсіювання.

За результатами експериментальних досліджень встановлюємо обмеження на ці параметри: $10\text{ м/с} \leq V_{nn} \leq 14\text{ м/с}$; $0,44\text{ м} \leq H_D \leq 0,64\text{ м}$; $5^\circ \leq \beta \leq 17^\circ$. Розраховуємо кінцеву швидкість повітрянасіннової суміші на виході з насіннєпроводу V_c . Приймаємо, що кут нахилу насіннєпроводу відносно вертикальної осі $\theta=0$, висота виходу насіння з насіннєвого бункера відносно вертикальної осі $H_{BA}=0,5\text{ м}$.

Для розрахунку швидкості відбитих від пластини насінин гірчиці V_0 необхідно дослідно визначити коефіцієнт їх відновлення, використовуючи співвідношення $k = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$, де h_1 – висота, з якої падає насінина, h_2 – висота, на яку відскакує насінина. За нашими дослідженнями коефіцієнт відновлення для гірчиці становить $k_{zp}=0,17$.

Розрахунки починали з початкової швидкості повітря, заданої повітрянагнітачем на виході з бункера $V_{nn}=10\text{ м/с}$. Згідно за формулою вище отримуємо швидкість повітрянасіннової суміші на виході з насіннєпроводу: $V_c=10,52\text{ м/с}$.

На наступному кроці визначали кут та максимальну дальність розльоту насіння гірчиці за змінних параметрів висоти установки та кута розкриття розсіювача без урахування сил опору повітря.

У програмі для розрахунку розльоту насінин після падіння на тарілку розсіювання використовується формула, в якій швидкість відбитих від пластини насінин V_0 обчислюється (з урахуванням величини V_c). Для визначення кута нахилу пластини розсіювача відносно горизонтальної площини під час відскоку насіння в боки знаходили β_θ , де за $\theta = 0^\circ$ отримали: $\beta_\theta = \beta$, а за $\theta = \pm 90^\circ$: $\beta_\theta = 0$. Кути θ вибираємо довільні від 0° до 180° для отримання області розсіювання, за якою розраховували площу засіву.

Далі визначали: кут падіння насіння α , кут відбиття ψ , кут між вектором початкової швидкості V_0 і віссю Ox , паралельній поверхні ґрунту γ , що на кінцевому етапі дає можливість визначити розрахункові дані кутів та максимальної дальності розльоту насіння (x_{nad}). Розрахункові дані зони максимального розсіювання насіння гірчиці наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахункові дані зони максимального розсіювання насіння гірчиці з урахуванням факторів впливу

Кути розкриття тарілчастого розсіювача	β_0	$x_{\text{над}}$ – максимальна дальність польоту в зоні розсіювання, м								
		$V=10 \text{ м/с}$			$V=12 \text{ м/с}$			$V=14 \text{ м/с}$		
		за $H_d=0,44 \text{ м}$	за $H_d=0,54 \text{ м}$	за $H_d=0,64 \text{ м}$	за $H_d=0,44 \text{ м}$	за $H_d=0,54 \text{ м}$	за $H_d=0,64 \text{ м}$	за $H_d=0,44 \text{ м}$	за $H_d=0,54 \text{ м}$	за $H_d=0,64 \text{ м}$
$\theta=0^0, 180^0$										
$\beta=5^0$	5	0,55	0,58	0,64	0,7	0,73	0,76	0,87	0,9	0,95
$\beta=11^0$	11	1,06	1,13	1,19	1,28	1,42	1,49	1,6	1,76	1,84
$\beta=17^0$	17	0,99	1,07	1,14	1,4	1,33	1,4	1,51	1,6	1,7
$\theta=20^0, 160^0$										
$\beta=5^0$	4,6	0,51	0,54	0,56	0,6	0,68	0,71	0,79	0,8	0,85
$\beta=11^0$	10,2	0,99	1,06	1,12	1,3	1,31	1,38	1,55	1,63	1,7
$\beta=17^0$	15,4	1,29	1,39	1,48	1,64	1,7	1,8	1,9	2,06	2,2
$\theta=30^0, 150^0$										
$\beta=5^0$	4	0,44	0,47	0,49	0,48	0,59	0,62	0,71	0,74	0,77
$\beta=11^0$	9,1	0,93	0,98	1,04	1,19	1,24	1,3	1,5	1,55	1,6
$\beta=17^0$	14,6	1,22	1,31	1,4	1,63	1,66	1,76	2,45	2,5	2,6
$\theta=45^0, 135^0$										
$\beta=5^0$	3,4	0,38	0,4	0,42	0,49	0,51	0,53	0,63	0,66	0,68
$\beta=11^0$	7,4	0,77	0,82	0,86	1,03	1,04	1,09	1,2	1,3	1,33
$\beta=17^0$	11,9	1,12	1,19	1,26	1,44	1,5	1,57	1,78	1,9	1,97
$\theta=60^0, 120^0$										
$\beta=5^0$	2,3	0,23	0,25	0,26	0,29	0,3	0,32	0,38	0,4	0,41
$\beta=11^0$	5,1	0,55	0,58	0,61	0,7	0,73	0,76	0,85	0,9	0,93
$\beta=17^0$	8,5	0,83	0,88	0,93	0,88	1,11	1,16	1,3	1,4	1,46
$\theta=80^0, 100^0$										
$\beta=5^0$	0,6	0,1	0,11	0,1	0,08	0,13	0,13	0,16	0,16	0,17
$\beta=11^0$	1,7	0,22	0,23	0,24	0,23	0,29	0,3	0,36	0,37	0,38
$\beta=17^0$	2,9	0,34	0,36	0,38	0,41	0,45	0,47	0,57	0,59	0,61

Для обробки даних застосували пакет прикладних програм STATISTICA 6, внаслідок чого отримали рівняння регресії за висоти установки розсіювача $H_d=0,54$ м в натуральних значеннях, що встановлює залежність між параметром оптимізації $X_{над}$ (дальність польоту насіння) та швидкістю повітряного потоку V_{nn} і кутом розкриття розсіювача β (табл. 3.1, рис. 3.5 – 3.7):

$$X_{над} = -0,8917 + 0,2427\beta - 0,0048 V_{nn} - 0,0112\beta^2 + 0,0044\beta V_{nn} - 0,0033 V_{nn}^2, \quad (3.1)$$

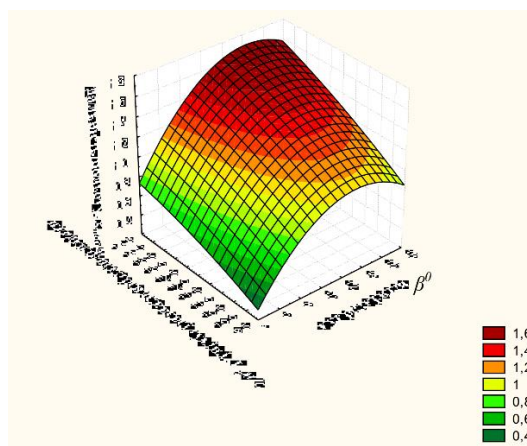


Рисунок 3.5 – Залежність дальності польоту $X_{над}$ насіння гірчиці від кута розкриття β та швидкості повітрянонасінневої суміші V_c за висоти установки розсіювача $H_d=0,44$ м

На основі отриманих даних побудували залежності дальності польоту X_{nad} насіння гірчиці від кута розкриття β та швидкості повітряного потоку за різних висот установки розсіювача $H_D = 0,44$ м, $0,54$ м, $0,64$ м.

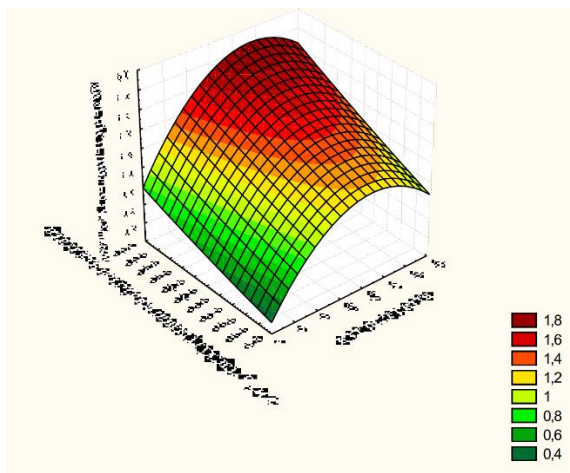


Рисунок 3.6 – Залежність дальності польоту X_{nad} насіння гірчиці від кута розкриття β та швидкості повітрянонасінневої суміші V_c за висоти установки розсіювача $H_D = 0,54$ м

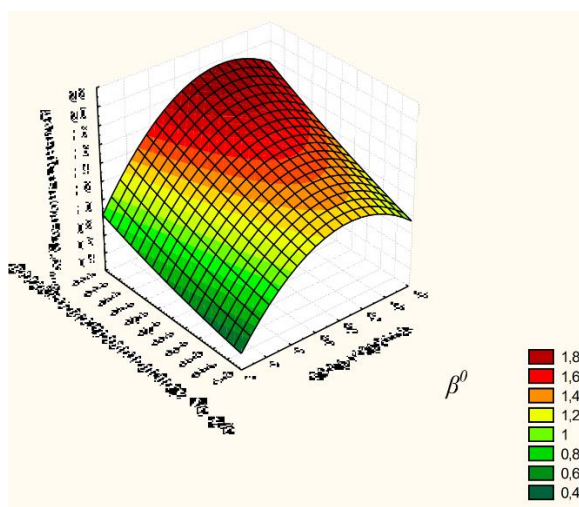


Рисунок 3.7 – Залежність дальності польоту X_{nad} насіння гірчиці від кута розкриття β та швидкості повітрянонасінневої суміші V_c за висоти установки розсіювача $H_D = 0,64$ м

Отримані графіки (рис. 3.5–3.7) характеризують взаємний вплив вищевказаних факторів на критерій оптимізації, з яких визначаємо, що на дальності польоту насіння суттєво впливає швидкість повітряного потоку та кут розкриття розсіювача. Дальність польоту $X_{nad} = 0,73$ м визначається за: висоти $H_D = 0,54$ м,

швидкості повітря $V_{nn}=12$ м/с, кута розкриття пластини розсіювача $\beta=5^\circ$.

Площа розсіву та щільність розподілу насіння.

За даними X_{nad} насіння (табл. 3.1) та відображеному контуру за кутами розльоту розраховуємо ширину розкидання з одного розсіювача та площу розсіювання S_r (рис. 3.8).

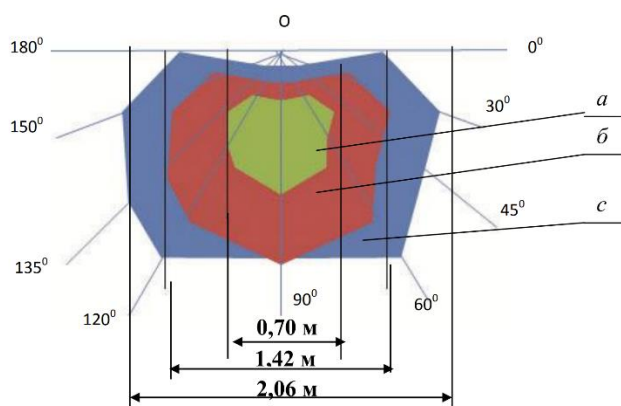


Рисунок 3.8 – Схема площини густоти розсіювання насіння одним тарілчастим розсіювачем за висоти його установки $H_d = 0,54$ м, швидкості повітряного потоку $V_{nn}=12$ м/с та кутів розкриття: а) $\beta=5^\circ$, б) $\beta=11^\circ$, в) $\beta=17^\circ$

За відображеним контуром з отриманих площ розраховували за формулою кількість насіння (табл. 3.2), яка відповідає або наближається до норми висіву (для гірчиці 20 кг/га, це (5млн. шт.), або 500 шт. на один квадратний метр).

Таблиця 3.2 – Розрахункові дані площі засіву та кількості насіння гірчиці з урахуванням факторів впливу

Висота установки розсіювача H_d , м	Кут розкриття розсіювача β , град	Площа засіву S_r , м ²	Кількість насінин, шт		Ймовірність влучання насіння на площу σ
			фактична	розрахункова	
0,44	5	0,31	155	148	0,39
	11	1,4	700	647	0,43
	17	2,4	1200	1156	0,43
0,54	5	0,37	157	148	0,34
	11	1,49	745	674	0,40
	17	2,67	1335	1231	0,50
0,64	5	0,4	200	153	0,37
	11	1,52	760	716	0,37
	17	2,97	1485	1412	0,42

Аналізуючи наведену залежність визначаємо, що за кутів розкриття $\beta=11^\circ$ та $\beta=17^\circ$ спостерігається більша площа засівання $S_r = 1,49 \text{ м}^2$ та $S_r = 2,67 \text{ м}^2$ ніж за $\beta=5^\circ$, де $S_r = 0,37 \text{ м}^2$ і відповідно ширина смуги розсіювання, проте кількість насіння з одного розсіювача на цих площах розподіляється одна й та ж.

Щільність розподілу насіння.

Вважаючи, що найкраще розсіювання насіння сидеральних культур – це висів з рівномірною щільністю на поверхні ґрунту, яку визначаємо на поверхні ґрунту площею S_r , у нашому випадку щільність розподілу насіння на поверхні ґрунту можна інтерпретувати як щільність нормального розподілу.

На наступному кроці розраховували для кожної координати x , y площею $S_{ri}=0,0025\text{м}^2$ відповідну матрицю розміщення насінин сидератів. Тобто ми визначали математичне очікування m та середньоквадратичне відхилення ζ (табл. 3.3). Для цього застосовувалися точкові оцінки експериментальних даних для чисельного визначення математичного очікування і дисперсії. Кількість насіння, яке потрапило на ділянку S_{ri} за нормального розподілу, і за рівномірного розподілу, визначали за формулами наведеними в другому розділі. Результати розрахунків наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахункові параметри математичного очікування щільності та середньоквадратичного відхилення випадкових величин X, Y

Розрахунковий показник	Параметри, які впливають на якість розсіювання насіння ($V=12 \text{ м/с}$)								
	$H_d=0,44 \text{ м}$			$H_d=0,54 \text{ м}$			$H_d=0,64 \text{ м}$		
	$\beta=5^\circ$	$\beta=11^\circ$	$\beta=17^\circ$	$\beta=5^\circ$	$\beta=11^\circ$	$\beta=17^\circ$	$\beta=5^\circ$	$\beta=11^\circ$	$\beta=17^\circ$
Математичне очікування, m_x	0,16	0,18	0,18	0,158	0,14	0,19	0,14	0,14	0,19
Середньоквадратичне відхилення, σ_x	0,39	0,43	0,43	0,34	0,4	0,5	0,37	0,37	0,42
Математичне очікування, m_y	0,12	0,10	0,11	0,125	0,13	0,16	0,11	0,11	0,14
Середньоквадратичне відхилення, σ_y	0,35	0,35	0,35	0,38	0,39	0,43	0,33	0,31	0,37

За отриманими даними (табл. 3.3), будуюмо зони розсіювання та гістограми щільності розподілу насіння. Найбільш оптимальні параметри наведено на рис. 3.9.

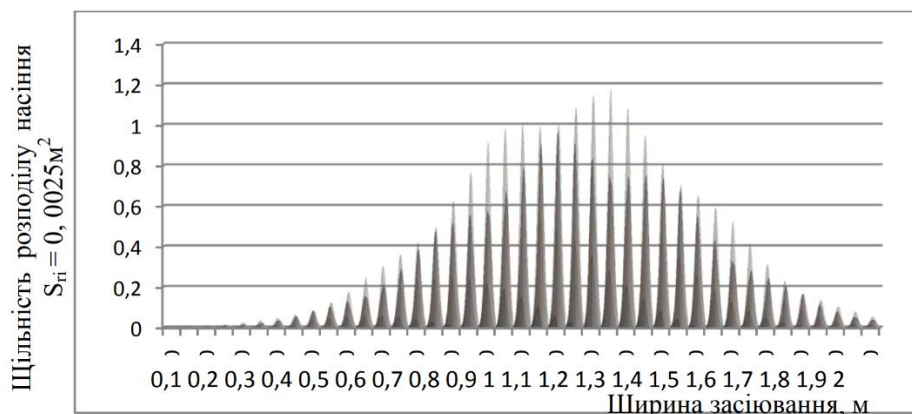


Рисунок 3.9 – Гістограма щільності розподілу насіння за $V_{BH}=12\text{ м/с}$, $H_D=0,54\text{ м}$ та кута $\beta=5^\circ$

З гістограми наведеної на рис. 3.9 видно, що розподіл насіння близький до нормального.

Програма покоординатного спуску, яка реалізує визначення критерію якості для знаходження оптимальних параметрів блоку розсіювання ґрунтообробно-посівного агрегата та дає змогу визначити мінімальне значення функціоналу $F_2=0,076$, зафіксоване за параметрами: швидкість повітряного потоку $V_{BH}=12\text{ м/с}$, висота установки $H_D=0,54\text{ м}$ та кут розкриття $\beta=5^\circ$, які вважалися за оптимальні.

В результаті експерименту, отримали статистичні масиви даних розподілу насіння експериментальним розсіювачем по комірках лотка і побудували відповідні залежності (табл. 3.4, рис. 3.10).

Характер і форма епюр підтверджують теоретичні дані, що найкращий розподіл насіння в комірках лотка визначається встановленими параметрами: кутом розкриття $\beta=5^\circ$, швидкістю повітряного потоку $V_c=12\text{ м/с}$ та висотою установки розсіювача $H_D=0,54\text{ м}$.

Виходячи з норми висіву для гірчиці 20 кг/га , на площі $0,33\text{ м}^2$, яку отримано в результаті експерименту, повинно впасти 165 насінин, а впало 157 насінин. Розглянувши рис. 3.11 поділимо його на три зони: зона 1 площею $0,12\text{ м}^2$, на яку

впало 76 насінин – рівномірність є задовільною для заданої норми, зона 2 площею 0,1050 м², на яку впало 48 насінин та зона 3 площею 0,1050 м², на яку впало 33 насінини – рівномірність є незадовільною. Ми бачимо, що в зоні 1 забезпечується рівномірність у повній мірі, а в зонах 2 і 3 забезпечити рівномірність потрібно перекриттям сусідніх епюр.

Таблиця 3.4 Рівні варіювання чинниками експериментальних досліджень з розподілу висіву насіння гірчиці

Рівні та інтервал варіювання	Кодове значення	Чинники та їхні позначення		
		швидкість повітряного потоку $V_c (x_1)$	кут розкриття розсіювача $\beta (x_2)$	висота установки розсіювача $H_d (x_3)$
Верхній рівень	+1	10	5 ⁰	0,44
Основний рівень	0	12	11 ⁰	0,54
Нижній рівень	-1	14	17 ⁰	0,64
Інтервал варіювання		2 м/с	6 ⁰	0,1 м

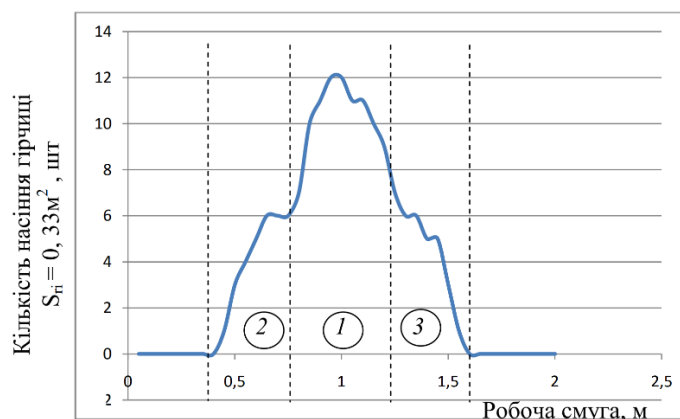


Рисунок 3.10 – Оцінки розподілу насіння гірчиці в комірках лотка за кута розкриття $\beta=5^0$, швидкості повітряного потоку $V_c=12$ м/с та висоти установки розсіювача $H_d=0,54$ м

Використовуючи метод вибору варіантів, проводили оптимізацію таких параметрів: кута розкриття розсіювача β і висоти установки тарілчастого розсіювача H_d [7, 21]. Керування рухом матеріальної точки у фазовому просторі

(переміщення з однієї зони в іншу) виконували за умови мінімізації або максимізації заданого критерію. Мінімізували середньоквадратичне відхилення, перевіряли і проводили імітаційне моделювання роботи пристрою за різних варіантів відстані між розсіювачами L_p . Визначали кількість насіння, які потрапили у комірки лотка, і визначали ступінь нерівномірності їх розміщення. Мінімізуючи середньоквадратичне відхилення, вибирали оптимальний варіант.

З досліджень отримали масиви даних для моделювання розподілу насіння по ходу агрегата нормальним законом розподілу для побудови гістограм (рис. 3.11–3.13).

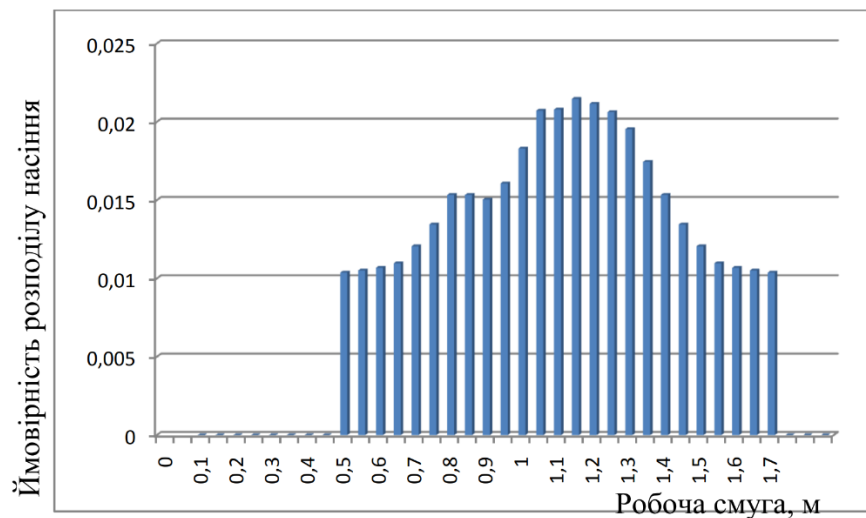


Рисунок 3.11 – Гістограма розподілу насіння за $V_c=12$ м/с, $H_d=0,54$, $\beta=5^\circ$

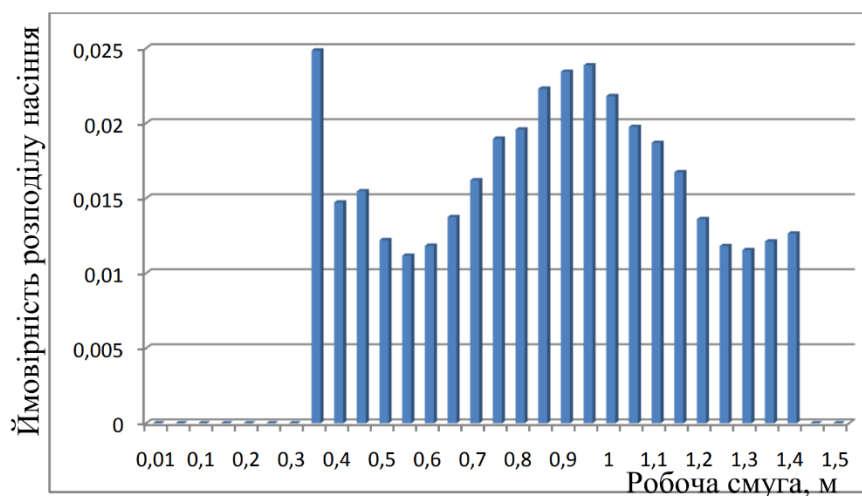


Рисунок 3.12 – Гістограма розподілу насіння за $V_c=12$ м/с, $H_d=0,54$, $\beta=11^\circ$

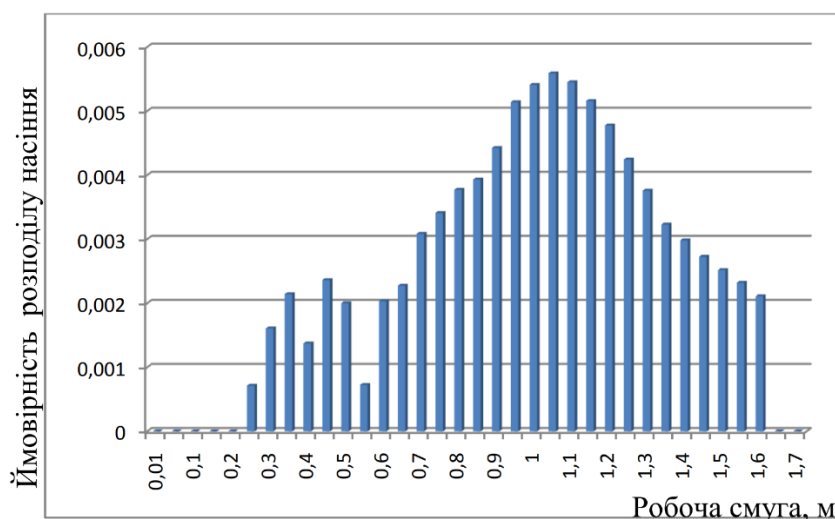


Рисунок 3.13 – Гістограма розподілу насіння за $V_c=12$ м/с, $H_d=0,54$, $\beta=17^\circ$

Найбільш прийнятним визначено дослід, у якому характер і форма епюри розподілу насіння відповідає найкращому розподілу насіння в комірках лотка, та визначається встановленими параметрами: кутом $\beta=5^\circ$, швидкістю повітряного потоку $V_c=12$ м/с та висотою установки $H_d=0,54$ м.

Моделювання досягнення встановленої щільності насіння за нормою висіву.

Метод імітаційного моделювання для оптимізацій перекриття за різних варіантів відстані між розсіювачами дає змогу зафіксувати мінімальне значення коефіцієнта варіації $v=49,3\%$ на 10-му кроці зміщення сусідніх епюр, чому відповідає відстань між розсіювачами – 0,5 м. Схема розсіювання з перекриттям суміжних площ для досягнення встановленої щільності представлена на рис. 3.14, де визначено, що для встановленої щільності та заданої норми висіву задовольняє площа у сегменті 1, а площі 2 і 3 – перекриттям площ суміжних розсіювачів. Тобто, під час руху агрегат за час $(t + t_i)$ забезпечує засівання площ 2 і 3 з перекриттям від суміжних розсіювачів засіваючи одночасно і ділянку 4 рис. 3.14.

За отриманими даними розраховували площу S , засіяну одним розсіювачем, зі зміною параметрів: кута розкриття нижньої пластини розсіювача β^0 , швидкості повітряного потоку $V_{BH}=12$ м/с та висоти установки $H_d=0,54$ м: $\beta=5^\circ$ – площа $0,88$ м²; $\beta=11^\circ$ – площа $1,2$ м²; $\beta=17^\circ$ – площа $1,35$ м². За кутів розкриття $\beta=11^\circ$ та $\beta=17^\circ$ спостерігається більша площа засівання, хоча кількість

насіння на цих площах розподіляється одна й та ж, отже щільність розподілу насіння не забезпечує нормативних вимог.

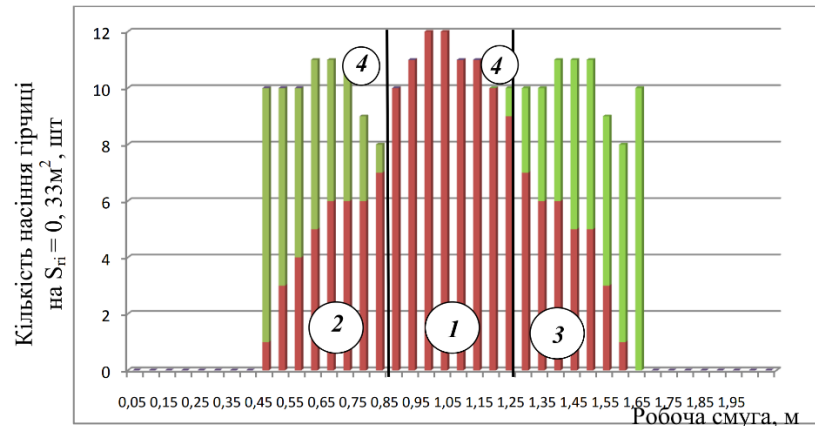


Рисунок 3.14 – Схема досягнення встановленої щільності насіння з перекриттям площ для за $V_{BH}=12$ м/с, $H_D=0,54$, $\beta=5^\circ$:

1 – засіяна площа одним розсіювачем; 2,3 – засіяна площа з перекриттям суміжних розсіювачів за час t ; 4 – засіяна площа з перекриттям суміжних розсіювачів за час $(t + t_i)$

Визначили нерівномірність розподілу по площі (коефіцієнт варіації) за формулою $v=(S/x_{\text{сер}})*100\%$, де S – середньоквадратичне відхилення, $x_{\text{сер}}$ – середнє квадратичне значення [21], які представлено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Показники нерівномірності розподілу насіння по площі

Показник нерівномірності розподілу	Змінні параметри при $V_c=12$ м/с								
	висота установки $H_D=0,44$, м			висота установки $H_D=0,54$, м			висота установки $H_D=0,64$, м		
	кут розкриття розсіювача, β°			кут розкриття розсіювача, β°			кут розкриття розсіювача, β°		
	5	11	17	5	11	17	5	11	17
$v, \%$	56,7	59,5	67,8	49,3	54,3	88,4	57,5	64,8	66,9

Порівняльна оцінка розподілу насіння.

Отримані експериментально та підтверджені розрахунками оптимальні параметри (висота установки $H_D=0,54$ м, кут розкриття розсіювача $\beta=5^\circ$, швидкість повітряного потоку $V_c=12$ м/с), дозволили побудувати епюру засіву (рис. 3.15)

завширшки L_{Π} , за норми дрібного насіння гірчиці тарілчастим розсіювачем та щільності 471 шт. на один квадратний метр, що відповідає нормі 20 кг/га.

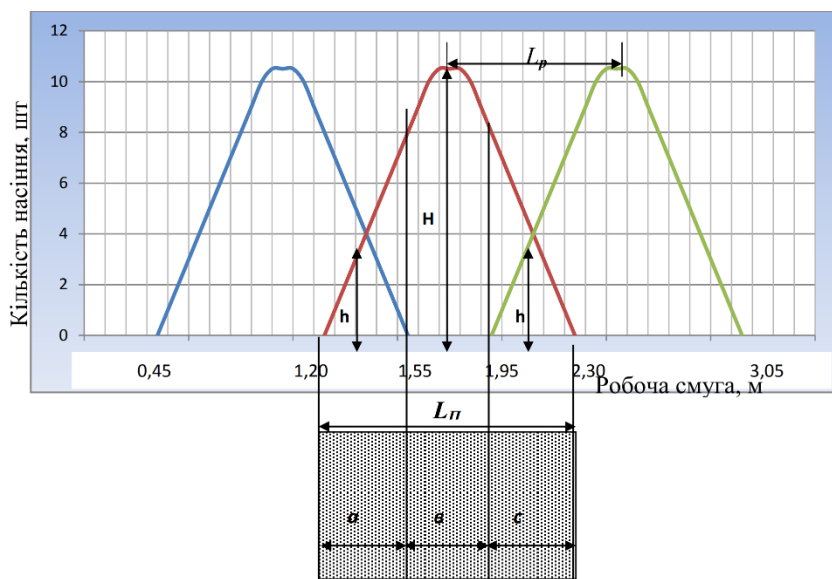


Рисунок 3.15 – Епюра розсіювання насіння гірчиці на основі експериментальних досліджень: L_{Π} – смуга засіву з одного розсіювача, L_p – відстань між розсіювачами, h – висота координати в точці перетину епюр, H – медіана

Зсуванням тарілчастих розсіювачів у поперечному до ходу агрегата напрямку забезпечується також зсування накладених епюр до досягнення висоти координати в точці перетину епюр, рівною h , і відповідною розміру половині медіани H , яка характеризує густину ймовірності розподілу насіння на поверхні поля. За таких умов витримується найбільш прийнятна для цієї ситуації рівномірність висіву $a=b=c$, де ділянки: a і c – ділянки з перекриттям 2 суміжних розсіювачів, b – ділянка з одного.

За характером кривизни епюр розсіювання насіння гірчиці на поверхні поля визначили відстань між розсіювачами, яка становить $L_p=0,5$ м.

Для порівняльної оцінки розподілу насіння побудовані гістограми розподілу на основі експериментальних та розрахункових даних, враховуючи визначені оптимальні параметри (рис. 3.16).

Теоретична та експериментальна гістограми збігаються і відповідають нормальному закону розподілу.

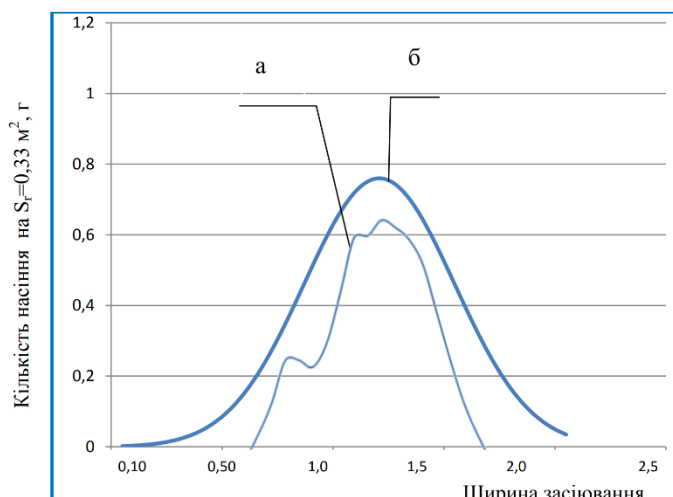


Рисунок 3.16 – Оцінки розподілу насіння в комірках лотка при $H_d=0,54$ м, $V_c=12$ м/с, $\beta=5^\circ$ за теоретичними даними (а) та експериментальними даними (б)

Проведено перевірку експериментальних та теоретичних передумов прийнятих для побудови розрахункових моделей функціонування блоків технологічності та якості ґрунтообробно-посівного агрегата.

На основі експериментальних даних визначили нерівномірність розподілу насіння на площі поля, коефіцієнт варіації v , %. Отримані дані дають змогу відмітити, що значення коефіцієнта варіації зменшуються за кута установки $\beta=5^\circ$, швидкості повітронасінневої суміші $V=12$ м/с та висоти установки $H_d=0,54$ м ($v=49,3$ %), що свідчить про найкраще забезпечення рівномірності розподілу насіння.

Висновки по розділу.

В результаті експериментальних досліджень отримані наступні результати:

1. Визначено функціональні параметри блоку технологічності – режими роботи КГПА, швидкість агрегата доцільно тримати в межах від 2,2 м/с до 3,3 м/с, для заданої норми висіву.

2. Проведено перевірку теоретичних досліджень прийнятих для побудови розрахункових моделей функціонування блоків технологічності та якості комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата та раціональних параметрів процесу. За результатами попередніх досліджень до параметрів відносяться:

дальність польоту $X_{nad}=0,73$ м, площа засіву $S_r=0,7$ м², досягнення встановленої щільності за нормою висіву 471 насінина на 1 м².

3. За експериментальними дослідженнями функціонального блоку якості розсіювання визначено: динаміку руху насіння у пневматичному насіннєпроводі для визначення параметрів тарілчастого розсіювача: швидкість повітрянонасіннєвої суміші ($V_{пн}=12$ м/с), кут розкриття розсіювача ($\beta=5^0$) та висота його установки ($H_d=0,54$ м).

4. За характером кривизни епюр розсіювання насіння визначено відстань між розсіювачами ($L_p=0,5$ м).

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Організація та заходи з охорони праці в господарстві.

На сучасному етапі науково-технічного розвитку нашої держави питання охорони праці на підприємствах є одним із найактуальніших.

Належна організація охорони праці, яка відповідає вимогам нормативно-правових актів, є основним заходом профілактики та запобігання виробничому травматизму й професійній захворюваності.

Основним законодавчим актом, який регулює організацію охорони праці на підприємстві, є Закон України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 року №2694-XII (далі – Закон). Його дія поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, що відповідно до законодавства використовують найману працю, та на всіх працюючих [9].

Кожним трудовим договором передбачаються зобов'язання роботодавця щодо забезпечення найманих працівників безпечними умовами праці.

Законодавство України покладає на всіх роботодавців обов'язок щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці. Витрати на охорону праці на підприємстві згідно зі ст. 19 Закону повинні становити не менше 0,5% від фонду оплати праці за попередній рік, а за невиконання законодавства про охорону праці до підприємства можуть бути застосовані санкції аж до заборони його експлуатації.

Організація роботодавцем охорони праці в господарстві:

1. Створити службу охорони праці.

Згідно зі ст. 15 Закону така служба обов'язково повинна бути створена на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб відповідно до Типового положення про службу охорони праці, затвердженого наказом Держкомітету з нагляду за охороною праці від 15.11.2004 № 255. На підставі цього документа також має бути розроблено Положення про службу охорони праці цього підприємства, визначено структуру такої служби, її чисельність, основні завдання, функції та права її працівників. Крім того, повинні бути затверджені посадові

інструкції посадових осіб служби, що визначають їх обов'язки, права та відповідальність за виконання покладених на них функцій.

На підприємствах із кількістю працівників менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва (суміщення) особи, які мають відповідну підготовку. На підприємствах із кількістю працівників менше 20 осіб для виконання функцій служби охорони праці можуть на договірних засадах залучатися сторонні фахівці, які мають не менше трьох років виробничого стажу і пройшли навчання з охорони праці.

2. Розробити та затвердити на підприємстві положення, інструкції та інші акти з охорони праці.

Обов'язок роботодавця стосовно розробки та затвердження документів, які повинні встановлювати правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках і робочих місцях, передбачений ст. 13 Закону. Інструкції та інша документація з охорони праці розробляються на підставі положень законодавства з охорони праці, типових інструкцій та технологічної документації підприємства з урахуванням його виду діяльності й конкретних.

3. Організувати проведення інструктажів з питань охорони праці.

Перед початком роботи нового працівника роботодавець згідно зі ст. 29 КЗпП зобов'язаний проінформувати його під розпис про умови праці, наявні на його робочому місці, у тому числі про всі небезпечні чи шкідливі виробничі фактори, які ще не усунуто, та про можливі наслідки їх впливу на здоров'я працівника, а також про можливі пільги та компенсації за роботу в таких умовах.

Крім того, при прийнятті на роботу всі працівники повинні за рахунок роботодавця пройти вступний інструктаж, навчання, перевірку теоретичних знань, первинний інструктаж на робочому місці, стажування і набуття навичок безпечних методів праці. Тільки після цього працівники допускаються до самостійної роботи. Вступний інструктаж проводить спеціаліст з охорони праці, а первинний – безпосередній керівник працівника. Надалі з працівниками повинні проводитися

повторні інструктажі (раз на квартал або раз на півріччя), позапланові (при зміні правил охорони праці, зміни в обладнанні або при порушенні працівником правил охорони праці) та цільові інструктажі (зокрема, при разових роботах, не пов'язаних зі спеціальністю). Інформація про проведення інструктажів має вноситися до відповідних журналів з підписом як того, кого інструктували, так і того, хто інструктував.

4. Забезпечити навчання і перевірку знань з питань охорони праці.

Згідно зі ст. 18 Закону працівники, зайняті на роботах з підвищеною безпекою або там, де є потреба у професійному доборі, проходять спеціальне навчання і перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці. Таке навчання з питань охорони праці може проводитись як безпосередньо на підприємстві, так і навчальним центром [9].

До складу комісії можуть залучатися особи, які пройшли навчання та перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці.

Керівники, заступники керівників, головні спеціалісти, керівники основних виробничих та технічних служб підприємств, установ, організацій, об'єднань підприємств незалежно від форм власності та характеру виробничої діяльності, які безпосередньо пов'язані з організацією безпечного ведення робіт, проходять навчання й перевірку знань з питань охорони праці під час прийняття на роботу і періодично (один раз на три роки) навчаються згідно з Типовими тематичним планом і програмою навчання з питань охорони праці посадових осіб.

Працівники під час прийняття на роботу та в процесі роботи, а також учні, курсанти, слухачі та студенти під час трудового й професійного навчання проходять на підприємстві за рахунок роботодавця інструктажі, навчання та перевірку знань з питань охорони праці, надання домедичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також правил поведінки у разі виникнення аварії.

Детальніше порядок проходження навчання та перевірки знань з питань охорони праці прописаний в наказі Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 р. № 15. У цьому ж документі передбачено, що на підприємстві повинні бути затверджені положення про навчання з питань охорони

праці, а також графіки проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці, з якими всі працівники повинні бути ознайомлені.

5. Провести атестацію робочих місць.

На підприємствах, де технологічний процес, використовуване обладнання, сировина, матеріали є потенційними джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які можуть негативно впливати на стан здоров'я працюючих, повинна проводитись атестація робочих місць за умовами праці. Така атестація повинна проводитися атестаційною комісією, склад і повноваження якої визначаються наказом по підприємству в строки, передбачені колективним договором, але не рідше одного разу на 5 років. Порядок проведення такої атестації передбачений постановою КМУ від 01.08.1992 № 442. Відомості про результати атестації заносяться в картку умов праці.

4.2. Моделювання виробничих небезпек при роботі з комбінованим ґрунтообробно-посівним агрегатом.

На сьогодні проблеми аварійності та травматизму пояснюються не тільки низькою культурою безпечності і відсутністю технологічної дисципліни, але й конструктивною недосконалістю та значним спрацюванням виробничого і транспортного устаткування.

Превентивні заходи попередження небезпечних подій мають особливу актуальність в усіх сферах виробництва, недооцінка небезпечних чинників призводить до загибелі людей, виходу з ладу обладнання, забрудненню навколишнього середовища.. Тому, з метою підвищення безпечності життєдіяльності людини та зниження збитків від травмонебезпечних та аварійних ситуацій, необхідно вивчати обставини їх появи, використовуючи методи системного аналізу та моделювання досліджуваних небезпечних ситуацій у техносфері [23].

Метод логічного моделювання потенційних аварій і травм надає можливість розробити досконалу систему управління безпекою життєдіяльності на виробництві, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх

поглибленому логічному аналізу і терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій.

Логіко-імітаційне моделювання травмонебезпечних ситуацій при роботі з комбінованим агрегатом має вигляд:

$$НУ — НД — НС — (А;Т)$$

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

Таким чином, в результаті моделювання небезпечних ситуацій на виробництві унеможлиблює виникнення аварій і травмування робітників.

Висновки по розділу.

В розділі охорони праці розглянуті організація та заходи з охорони праці, що необхідні бути в кожному господарстві для уникнення небезпечних ситуацій. А також наведено логіко-імітаційну модель для попередження травмування робітників, що працюють з машино-тракторними агрегатами.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМБІНОВАНОГО ГРУНТООБРОБНО-ПОСІВНОГО АГРЕГАТА

Факторами ефективності застосування комбінованого ґрунтообробно-посівного агрегата під час сівби сидеральних культур є скорочення витрат паливно-мастильних матеріалів (економією пального, заробітної плати механізаторам) підвищення врожайності сидератів (200-300 ц/га зеленої маси) досягненням рівномірної густини, зниження затрат на застосування мінеральних добрив, компенсуючи поживні речовини у ґрунті заорюванням сидеральних культур, оптимізація енергозатрат на створення повітряного потоку для транспортування насіння та його витрат обґрунтуванням технологічного процесу КГПА і технічних засобів реалізації технології.

Для розрахунку використовувалася методика визначення економічної ефективності відповідно до: ДСТУ 4397:2005, Сільськогосподарська техніка, Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування.

Базою для порівняння показників ефективності взято оцінку виконання технологічних операцій сівби сидеральних культур традиційним методом (лушення стерні ґрунтообробним агрегатом УДА-3,1 з енергозасобом МТЗ-82 і сівба сівалкою НІКА з енергозасобом МТЗ-80, далі лушення сидерата дисковим агрегатом УДА-3,1 з агрегатом МТЗ-82) та із застосуванням досліджуваного ґрунтообробно-посівного агрегата з висівним модулем і за традиційною технологією подальшим лушенням сидерата (МТЗ-82 +УДА-3,1).

Економічні показники визначали за відомими формулами [30]:

$$\text{Затрати праці} - Z_{\text{п}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot t_i \cdot r_i \cdot k_{\text{д}} \cdot n_i}{W_{\text{гз}}}, \quad (5.1)$$

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

k_d – коефіцієнт, який враховує доплати до годинної ставки за продукцію, класність, стаж роботи тощо;

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

$W_{зз}$ – продуктивність за годину змінного часу, од. наробітку/год.

Прямі питомі експлуатаційні витрати визначають за формулою:

$$B_{ек} = C_{он} + C_{ПММ} + C_{ра} + C_{кто}, \quad (5.2)$$

де $C_{он}$ – витрати на оплату праці персоналу, грн/га;

$C_{ПММ}$ – вартість витрати паливно-мастильних матеріалів, грн/га;

$C_{ра}$ – відрахування на амортизацію складових елементів МТА, грн/га;

$C_{кто}$ – відрахування на технічне обслуговування, грн/га.

Зазначені складові визначають за такими формулами:

$$C_{он} = \frac{m_1 f_1 + m_2 f_2 + \dots + m_i f_i}{W_{зз}} \quad (5.3)$$

де $m_1, m_2 \dots m_i$ – кількість робітників за кваліфікаціями;

$f_1, f_2 \dots f_i$ – оплата праці за кваліфікаціями за 1 год роботи.

$$C_{ПММ} = \Pi_k \cdot q_{га}, \quad (5.4)$$

де Π_k – комплексна ціна 1 кг палива, грн./кг; $q_{га}$ – витрати палива, кг/га.

$$C_{ра} = \frac{a_T A_T}{100 W_{зг} t_{HT}} + \frac{a_M A_M}{100 W_{зг} t_{HM}}, \quad (5.5)$$

де a_T, a_M – норма річних відрахувань на амортизацію від балансової вартості відповідно трактора і машини, %

A_T, A_M – балансові вартості трактора і машини грн.;

t_{HT}, t_{HM} – нормативне річне завантаження трактора і машини, год.

$$C_{кто} = \frac{A_T B_T}{100 W_{зг} t_{HT}} + \frac{A_M B_M}{100 W_{зг} t_{HM}}, \quad (5.6)$$

де B_T, B_M – норма річних відрахувань на технічне обслуговування і поточний ремонт трактора і машини.

Розрахункові дані порівняльної оцінки виконання технологічних операцій сівби сидеральних культур представлені в табл. 5.1.

Ефект від власного виробництва ґрунтообробно-посівного агрегата (передбачається, що в Україні споживачами вітчизняного обладнання яких є понад 46 тис. із площею угідь від 50 га до 2000 га).

Таблиця 5.1 – Порівняльна оцінка виконання технологічних операцій сівби сидеральних культур

Економічні складові	Традиційний метод сівби сидератів						Досліджуваний ґрунтообробно-посівний агрегат				
	Лушення стерні		Сівба сидерата		Лушення сидерата		Лушення стерні, посів, коткування			Лушення сидерата	
	МТЗ-82	УДА-3,1	МТЗ-80	Ніка	МТЗ-82	УДА-3,1	ХТЗ-120	БДЛП-4,2	Висівний модуль	МТЗ-82	УДА-3,1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Число машин, шт	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Робочий персонал, люд.	1		1		1		1			1	
Тарифна годинна ставка механізатора, грн			4,9								
Продуктивність за 1 год. змінного часу, га/год	2,6	2,6	2,8	2,8	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6
Витрати праці, люд.-год./га	0,38	0,00	0,36	0,00	0,38	0,00	0,4	0,0	0,0	0,38	0,0
Балансова вартість, тис. грн	500	179,72	480	358,612	500	179,72	1600	170	100	500	179,72
Коеф. відрахувань на амортизацію	0,1	0,143	0,1	0,125	0,1	0,143	0,1	0,143	0,125	0,1	0,143
Кап. і пот. ремонт і техн. обслуг.	0,13	0,07	0,13	0,07	0,13	0,07	0,13	0,07	0,07	0,13	0,07

продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Річне норма- тивне завантажен ня, год.	1600	200	1600	160	1600	200	1600	200	100	1600	200
Витрати пального, л/га	4,7		5,0		4,7		6,8			4,7	
Вартість пального, грн./л	29		29		29		29			29	
Прямі експлуа- таційні витрати у гривнях на одиницю наробітку:	164,69	84,41	196,35	156,00	164,6 9	84,41	221,93	84,41	72,23	164,6 9	84,41
затрати на оплату праці персоналу, грн./га	20,74		24,40		20,74		20,74			20,74	
затрати на амортизаці ю, грн./га	12,15	56,67	11,72	100,06	12,15	56,67	37,04	56,67	46,3	12,15	56,67
затрати на тех. обслуговув ання, поточн. та кап. ремонт, грн./га	15,80	27,74	15,23	56,03	15,80	27,74	48,15	27,74	25,93	15,80	27,74
затрати на паливно- мастильні матеріали, грн./га	116,00	0,00	145,0	0,00	116,0	0,00	116,0	0,0		116,0	0,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Витратні				200					200		

матеріали, грн./га											
Всього	899,89						732,53				

Вартість вітчизняного обладнання є вдвічі нижчою за імпортні аналоги. Вважається, що культури-сидерати, які дають 200-300 ц/га зеленої маси, утворюють кількість перегною, еквівалентну 30-40 т/га гною [16]. Враховуючи, що на 1 га потрібно 40 т гною, це коштує 6000 грн, на відміну від сидератів (гірчиця), яких потрібно 20 кг і їхня вартість 560 грн. тобто ми отримуємо економію на 1 га – 5440 грн.

Ефект від рівномірності розподілу будемо мати у 20,2 %, тобто 112,13 грн/га.

Витрати на сівбу сидератів традиційним методом складають 899,89 грн/га, а у випадку застосування досліджуваного ґрунтообробно-посівного агрегата з висівним модулем витрати складають 732,53 грн/га, звідси маємо економію у 176,36 грн/га.

Отже, економічна ефективність від впровадження вдосконаленої технології (застосування досліджуваного ґрунтообробно-посівного агрегата ХТЗ-120 + БДЛП 8 з висівним модулем) порівняно з традиційним методом (лушення стерні ґрунтообробним агрегатом УДА-3,1 з енергозасобом МТЗ-82 та сівба сівалкою НІКА з енергозасобом МТЗ-80) складає 288,49 гривень на 1 гектар, зокрема від оптимізації конструкційних параметрів тарілчастого висівного апарата (рівномірність висіву за встановленою нормою) – 112,13 гривень на 1 гектар. Термін окупності розробок – 1,2 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі наведено теоретичне обґрунтування та вирішення науково-практичного завдання підвищення ефективності техніко-технологічного процесу сівби сидеральних культур поєднанням технологічних операцій комбінованим ґрунтообробно-посівним агрегатом і удосконаленням конструкційних параметрів тарілчастого розсіювача.

1. Вивчення наявного світового та вітчизняного рівня машин та засобів показало доцільність використання комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів (КГПА), які забезпечують сівбу сидератів одночасно з обробіткою ґрунту. Для ефективного функціонування КГПА необхідне технологічне поєднання (узгодження технологічних операцій) за схемою [$\langle$ швидкість агрегата – задана норма висіву насіння $\rangle$ – $\langle$ транспортування насіння пневмопроводом та розсів тарілчастим розсіювачем (з визначеними раціональними параметрами) $\rangle$].

2. Розроблено системо-аналогову модель КГПА з інформаційною системою, які забезпечують функціонування двох блоків: технологічності (установлена норма висіву зі зміною швидкості агрегата) та якості висіву (рівномірність висіву визначеними параметрами насіннєпровода і тарілчастого розсіювача).

Одержано аналітичні залежності величини ділянки розсіювання X_{nad} та щільності розподілу насіння по ширині та напрямку руху агрегата $f(x,y)$ від швидкості повітрянонасіннєвої суміші V_{nn} та конструкційних параметрів тарілчастого розсіювача: кутів розкриття нижньої пластини розсіювача β та висоти їх установки H_d на агрегаті.

3. Визначені раціональні значення параметрів розсіювача (швидкість повітрянонасіннєвої суміші ($V_{nn}=12\text{ м/с}$), кути нахилу площини тарілчастого розсіювача ($\beta=5^\circ$), висоту встановлення розсіювача ($H_d=0,54\text{ м}$) і відстань між розсіювачами ($L_p=0,5\text{ м}$) на агрегаті), за яких забезпечується рівномірність висіву відповідно до чинних агрономічних.

Теоретичними дослідженнями обґрунтовано, що досягнення встановленої щільності за нормою висіву 20 кг/га складають $94,2\%$ (471 насінин на один

квадратний метр), а експериментальні дані щільності розподілу рівні 86,8 % (434 насінини на один квадратний метр).

4. Економічна ефективність від впровадження вдосконаленої технології (застосування досліджуваного ґрунтообробно-посівного агрегата ХТЗ-120 + БДЛП 8 з висівним модулем) порівняно з традиційним методом (лушення стерні ґрунтообробним агрегатом УДА-3,1 з енергозасобом МТЗ-82 та сівба сівалкою НІКА з енергозасобом МТЗ-80) складає 288,49 гривень на 1 гектар, зокрема від оптимізації конструкційних параметрів тарілчастого висівного апарата (рівномірність висіву за встановленою нормою) - 112,13 грн/га. Термін окупності складає 1,2 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аніскевич Л.В. Управління системами високоточного дозування технологічних матеріалів. Техніка та енергетика. Науковий вісник НУБіП. 2014.С. 264-277.
2. Волоха М. До створення агентно-імітаційної моделі технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових. Техніка і технології АПК. 2018. № 7. С. 8–11.
3. Волоха М.П. Аналіз технологічної ефективності процесу обробітку цукрових буряків на основі методу моделювання. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 296. С. 89–94.
4. Висівний модуль TECHNIK-PLUS TURBO-JET SUPER. URL : <http://www.technik-plus.eu/index.php/ru/tp-turbo-jet-super-ru>.
5. Гайдай Т. Математична модель руху ґрунтообробного посівного агрегату з тарілчастими розсіювачами сидеральних культур.
6. Гірчиця біла як сидерат, як і коли її сіяти. URL : <http://vsesideraty.ru/fatseliyakak-siderat-kak-i-kogda-ee-seyat>.
7. ДСТУ EN 13739-1.2004. Машини для внесення твердих добрив широкозахоплювані та повнозахоплювані. Захист довкілля. Частина 1. Вимоги. Київ. Держспоживстандарт України. 2007. 9 с.
8. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Навчальний посібник.Т. 1. ч. 2 Машини для сівби та садіння. Харківський державний технічний університет сільського господарства. Харків. Око. 2001. 451 с.
9. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII - zakon . rada URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>.
10. КНД 46.16.02.12 Техніка сільськогосподарська. Номенклатура показників якості. Дослідницьке. Мінсільгоспроду України. 1996. 59 с.
11. Косінов М.М., Шмат С.І., Косінов М.М. Удосконалення конструкції пневмомеханічного висівного апарата. Конструювання. виробництво та

експлуатація сільськогосподарських машин. загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград. КНТУ. 2009. Вип. 39. С. 156-160.

12. Кравчук В., Баранов Г., Прохоренко О., Гайдай Т. Системно-аналогове моделювання технологій екологічного керованого землеробства за ланцюговими процесами. Зб. наук. праць УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2016. Вип. 20(34). С. 269-280.

13. Кравчук В., Д. Читаєв, С. Любченко. Л. Шустік. Програмний комплекс вирішення задач аналізу та підготовки даних в системі керованого землеробства. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Зб. наук. праць УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого.-Дослідницьке. 2006. Вип. 9(23). С.171-172.

14. Кравчук В.І. Концепція гарантовано-адаптованого управління робочими процесами сільськогосподарських агрегатів та машин. Перспективи застосування технологій точного землеробства. Матер. 2-ї міжнар. наук.-практ. конфер. Київ. НАУ. 2006.

15. Кравчук В.І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин. Київ. НАУ. 2005. 208 с.

16. М. Новохацький. Н. Нілова. П. Погорілий. Сидерати біологічний фактор відтворення родючості ґрунту. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. ЗНП. Дослідницьке. УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. 2015. С. 382-394.

17. Мартиненко С.А., Ауліна Т.М. Пневматичний висів зернових культур. Конструювання. виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кіровоградський національний технічний університет. 2010. Вип. 40. ч. 1. С. 40-44.

18. Міні-сівалка BioDrill на культиваторах Vaderstad найбільш економічний спосіб посіву сидеральних культур і озимого ріпаку. Земледелец. №4. 2012. С. 18-23.

19. Моделювання сільськогосподарських агрегатів та їх систем управління.

Под ред. А.Б. Лурье. Колос. 1979. 321 с.

20. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2016 році. Статистичний бюлетень. Державна служба статистики України. Київ. 2017. 42 с.

21. Павельчук Ю. Ф. Обґрунтування параметрів сошників для сівби зернових культур підґрунтово-розкидним способом. дис. канд. техн. наук. 05.05.11. Подільський державний аграрно-технічний університет. Кам'янець-Подільський. 2009. 223 с.

22. Патент № 08640 на корисну модель. Україна. Грунтообробно-посівний агрегат. В.І. Кравчук, Ю.В. Пономар, М.Ю. Пономар, Л. П. Шустік, В. В. Погорілий, Т.В. Гайдай.

23. 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.

24. Протокол державних періодичних випробувань № 01-13-2014 Сівалка зернотукотрав'яна СЗТ-3,6А. Дослідницьке. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2014. 23 с.

25. Погорілий Л.В., Сисолін П.В. Грунтообробні та посівні машини. історія. машинобудування. конструювання. Київ. Фенікс. 2005. 264 с.

26. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Підручник. За ред.Д. Г. Войтюка. Київ. Вища освіта. 2004. 544 с.

27. Рудь А.В., Павельчук Ю. Ф., Мошенко І. О. Теоретичні дослідження процесу розподілу насіння зернових культур при підґрунтово-розкидному способі сівби. Конструювання. виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. загальнодержавний міжвідомчий науково- технічний збірник., Кіровоградський національний технічний університет. 2009. Вип. 39. С. 250-256.

28. Тарг С.М. Короткий курс теоретичної механіки. Київ. Вища школа. 1986. 416 с.

29. Уленбек Дж., Форд Дж. Лекції зі статистичної механіки. пер. з англ. під ред. Н.А. Кваснікова. Київ. 1985. 320 с.

30. Шапров М.М., Мартинов І.С. Теорія розподілу насіння при сівбі. Інноваційна наука. №11. 2015. С. 75-77.
31. Guide to the Expression of Uncertainty. Geneva. ISO. 1993. 10 p.