

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу прямої сівби цукрового буряка з удосконаленням сівалки точного висіву»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм-21
спеціальності 208 Агроінженерія
за освітньо-професійною програмою
«Агроінженерія»

Вінчук О.Л.

(прізвище та ініціали)

Керівник Юхимчук С.Ф.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дацюк Л.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2025

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані	1 лист
2. Теоретичні положення	1 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Результати експериментальних досліджень	1 лист
5. Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування	1 лист
6. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	1 лист
7. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	01.07. – 16.07.2025 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	20.08 – 31.08.2025 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2025 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2025 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2025 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2025 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2025 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2025 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2025 р.	
10	Нормоконтроль	до 04.12.2025 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	04.12.– 14.12.2025 р.	

Студент

_____ (підпис)

Вінчук О.Л.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Юхимчук С.Ф.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Хомич С.М.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Вінчук О. - Дослідження процесу прямої сівби цукрового буряка з удосконаленням сівалки точного висіву. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра за освітньою програмою «Агроінженерія» спеціальності 208 - Агроінженерія. Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2025.

Основний зміст кваліфікаційної роботи магістра викладено на 70 сторінках друкованого тексту. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань із 30 найменувань та 5 додатків, а також має 16 рисунків і 9 таблиць. Повний обсяг роботи становить 76 сторінок.

У даній роботі магістра дано опис конструкції нової сівалки точного висіву. На основі теоретичних досліджень сівалки було визначено: потужність, яку витрачає трактор при роботі з сівалкою, параметри ланцюгової передачі з шарнірнозакріпленими зубами-сошниками, об'єм ємкості для насіння, обгрунтовано параметри пасового висіваючого апарата, визначено форму вітки направляючої, яка працює по принципу мальтійського механізму. Вперше за розробленими методиками досліджено: повноту заповнення комірок насінневого транспортера насінинами, щоб підтвердити роботоздатність даної конструкції висіваючого апарату; вплив швидкості викидання насінин та висоти падіння насінин на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника.

Ключові слова: сівалка точного висіву, зуб-сошник, пасовий висіваючий апарат, направляюча, магнітне коромисло, дражоване насіння, пряма сівба.

ABSTRACT

Vinchuk O. - Research on the process of direct sowing of sugar beet with the improvement of a precision seed drill. Manuscript.

Master's qualification work under the educational program "Agroengineering" specialty 208 - Agricultural engineering. Lutsk National Technical University, Lutsk, 2025.

The main content of the master's thesis is outlined on 70 pages of printed text. The work comprises of itself introduction, four sections, findings, contents from 30 points that 5 add-ins also 16 drawings, 9 tables. The complete volume of work makes a 76 page.

In this paper, the master has substantiated the functional, kinematic and principal schemes of a new precision seeding drill. On the basis of theoretical studies of the seed drill and the sowing machine, it was determined: the power expended by the tractor when working with the seed drill, the parameters of the chain transmission with hinge-forged teeth, the volume of the seed capacity, the parameters of the feeder sowing machine were substantiated, the form of the guide's direction, which works on the principle of the Maltese mechanism, for turning the hinges fixed on the chain of teeth, it is suggested to use a magnetic rocker. For the first time following the developed techniques it was investigated: popnot filling of cells of seed seed conveyor with seeds, to confirm the robustness of this design of the sowing machine; the effect of seed rate and seedling drop height on the integrity of the seed into the tube of the tooth-comb. Recommendations on the operation of the machine are developed.

Key words: precision seeding, tooth-opener, belt apparatus seeding, rip, magnetic swipe, drazhovane seed, direct sowing.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	2
АНОТАЦІЯ.....	3
ABSTRACT.....	4
ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЇ РОБОТИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ	10
1.1 Технологія прямої сівби.....	10
1.2 Класифікація сівалок і типи висіваючих апаратів	12
1.3 Аналіз конструкцій сошників.....	14
1.4 Посів цукрового буряка з використанням солом'яної мульчі.....	16
1.5 Відомості про технологічні процеси та властивості оброблюваних матеріалів.....	17
1.6 Постановка питання, мети і завдання дослідження	19
2 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	20
2.1. Опис конструкції сівалки точного висіву.....	20
2.2 Технологічний розрахунок сівалки.....	22
2.3 Визначення відстані між зубами сошниками.....	23
2.4 Розрахунок параметрів ланцюгової передачі.....	25
2.5 Розрахунок ємкості бункерів для насіння.....	27
2.6 Розрахунок передач.....	28
2.7 Розрахунок параметрів висіваючого апарату.....	32
2.8 Розрахунок транспортера насіння.....	35
2.9 Визначення форми направляючої.....	38
2.10 Висновки.....	43
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ...	44
3.1 Програма експериментальних досліджень	44
3.2 Опис експериментальних установок та апаратури, що використовується при експериментальних дослідженнях.....	45

3.3	Методика статистичної обробки даних.....	48
3.4	Методика визначення повноти заповнення комірок висіваючого апарата насінинами.....	49
3.5.	Методика дослідження впливу швидкості викидання насінин та висоти падіння насінин на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника.....	51
4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	53
4.1	Визначення повноти заповнення комірок висіваючого апарата насінинами.....	53
4.2	Визначення впливу швидкості викидання насінин та висоти падіння насінин на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника.....	53
4.3	Висновки.....	65
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	68
	ДОДАТКИ	71

ВСТУП

Інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур, які були найбільш поширені в кінці ХХ століття привели до підвищення небезпечних ерозійних процесів, наслідком чого стало значне зниження природної родючості ґрунтів. Пошук шляхів вирішення проблеми привів до застосування енергоощадних і безпечних з екологічної точки зору, так званих, no-till технологій. Такі технології замінюють традиційні підходи до вирощування сільськогосподарських культур і в даний час вони отримують широке розповсюдження на українських полях [15, 21, 29].

Сівба являє собою одну з найважливіших операцій в рослинництві. Від якісного і своєчасного його виконання залежить майбутня врожайність сільськогосподарських культур.

Сучасні сівалки за основними своїми характеристиками відповідають вимогам до новітніх технологій проведення сівби. Однак на сьогодні все активніше впроваджуюся в практику рослинництва інноваційні методи посіву без попереднього обробітку або з мінімальним попереднім поверхневим обробітком ґрунту. Такий підхід обумовлений насамперед введенням енергоощадних підходів до польових операцій по обробітку ґрунту. Актуальність зниження енерговитрат на виконання сівби не викликає сумніву.

Приведені аргументи з урахуванням особливостей виконання польових робіт в рослинництві на Україні вимагає наукового пошуку і створення нових робочих органів посівних машин. Вони необхідні для реалізації технологій сівби з мінімальним обробітком ґрунту або взагалі при його відсутності.

Вирішенню цієї проблеми присвячено дане дослідження, метою якого є обґрунтування конструктивного рішення і виявлення раціональних конструктивно-технологічних параметрів сівалки точного висіву для прямої сівби дражованого насіння цукрового буряка.

Щоб зменшити матеріаломісткість машини, знизити енергозатрати та витрати насіннєвого матеріалу ми запропонували принципово нову конструкцію механічної сівалки точного висіву.

Тому актуальним є вдосконалення і дослідження нової сівалки точного висіву для прямої сівби дражованого насіння цукрового буряка.

Мета роботи: зменшити матеріаломісткість машини, знизити енергозатрати та витрати насіннєвого матеріалу на основі обґрунтування параметрів і дослідження нової сівалки точного висіву.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити задачі, що полягають у теоретичному та експериментальному дослідженні системи, яка складається із дражованого насіння цукрового буряка, ґрунту і робочих органів сівалки точного висіву, для визначення раціональних параметрів машини з врахуванням агротехнічних вимог до посівної техніки.

Об'єкт дослідження – процес висіву насіння, робочі органи сівалки точного висіву, дражоване насіння цукрового буряка.

Предмет дослідження – залежність показників якості виконання процесу висіву насіння від параметрів і режимів роботи робочих органів сівалки точного висіву.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень вищої математики, теоретичної механіки, теорії механізмів і машин. Аналіз математичних моделей здійснювався за допомогою прикладних програм на ПЕОМ. Експериментальні дослідження проводились на основі системного підходу із використанням математичного планування багатофакторних експериментів, статистики та теорії ймовірності.

У даній роботі магістра обґрунтовано конструкцію нової сівалки точного висіву. На основі теоретичних досліджень сівалки було визначено: потужність, яку витрачає трактор при роботі з сівалкою, параметри ланцюгової передачі з шарнірнозакріпленими зубами-сошниками, об'єм ємкості для насіння, обґрунтовано параметри пасового висіваючого апарата, визначено форму вітки направляючої, яка працює по принципу мальтійського механізму, для повороту

шарнірно закріплених на ланцюзі зубів-сошників запропоновано використати магнітне коромисло. Вперше за розробленими методиками досліджено: повноту заповнення комірок насінневого транспортера насінинами, щоб підтвердити роботоздатність даної конструкції висіваючого апарату; вплив швидкості викидання насінин та висоти падіння насінин на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника.

Результати даної наукової роботи мають теоретичне і практичне значення. Вони можуть бути використані при розробці нової сівалки точного висіву та для перевірки і визначення оптимального режиму його роботи.

Результати роботи можуть бути використані для наступних дисертаційних досліджень.. А також будуть корисними для спеціалізованих установ, які займаються розробленням та удосконаленням посівної техніки.

Логіка дослідження зумовила структуру роботи магістра: вступ, 4 розділи, загальні висновки, перелік джерел посилання із 30 найменувань, 5 додатків. Загальний обсяг 76 сторінок.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЇ РОБОТИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

1.1 Технологія прямої сівби

Сівба у необроблений шар ґрунту застосовувалася ще у стародавньому Єгипті, де за допомогою палиці робили ямку, в яку клали насіння і загортали його ногою [15]. Корінні мешканці півдня Бразилії також застосовували пряму сівбу, використовуючи шматки дерева, так звані «саракуа», якими вони закривали ямки в ґрунті при вирощуванні кукурудзи. Аналогічним чином, у Мексиці викопували невеликі ямки, куди поміщали насіння кукурудзи і мертву рибу як добриво для підвищення врожайності [29].

Пряма сівба зводиться до формування місця укладення насіння, внесення добрив і його загортання у ґрунт при наявності рослинних решток.

В цілому сучасна технологія прямої сівби є складним процесом і полягає у наступних етапах (рис. 1.1). Поле після збирання врожаю не обробляється плугами чи плоскорізами, культиваторами і боронами. Перед посівом його за один - два проходи обробляють гербіцидами, а потім сівалки, які обладнані спеціальними сошниками, висівають насіння і туки в борозни, що нарізані в ущільненому та насиченому рослинними рештками ґрунті.

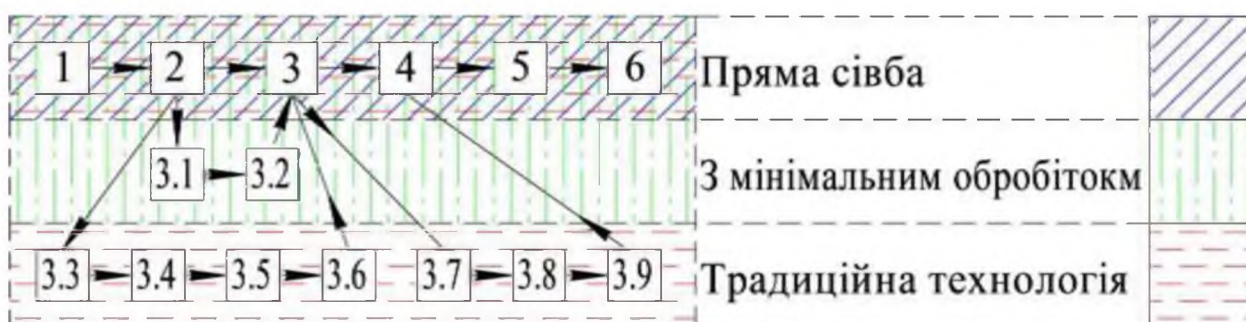


Рисунок 1. 1 - Порівняльна схема технологічних процесів вирощування сільськогосподарських культур: 1. Внесення гербіцидів; 2. Внесення мінеральних добрив; 3. Сівба; 3.1. Мульчування, 3.2. Обробіток без перевертання скиби ґрунту; 3.3. Лушчення стерні; 3.4. Оранка; 3.5. Боронування; 3.6. Культивація; 3.7. Прикочування посівів; 3.8. Досходове боронування; 3.9. Боронування сходів; 4. Обприскування проти шкідників; 5. Внесення гербіцидів; 6. Збирання

Таким чином, сошники сівалок працюють у складних умовах експлуатації – ґрунтах різної щільності, вологості, фракційного складу та інших складових. Виходячи з характеристики технології прямої сівби (рис. 1.1), переконуємося, що саме наявність рослинних решток на поверхні поля в різних фазах їх розкладу забезпечують основу позитивних аспектів процесу розвитку рослини. Але саме наявністю рослинних решток яку вигляді кореневих систем, так і залишків стебел на поверхні поля ускладнюються умови роботи сошника при виконанні прямої сівби.

Таблиця 1.1 - Характеристика технології прямої сівби

Переваги		
Екологічні	Економічні	Агрономічні
<ul style="list-style-type: none"> - збереження структури ґрунту; - створення сприятливих умов для розвитку фауни (дощових черв'яків, мікроорганізмів та ін.); - забезпечення захисту ґрунту від ерозії завдяки наявності рослинних решток; - зменшення поверхневого стоку та поліпшення фільтрації води; - зниження рівня забруднення стічних вод. 	<ul style="list-style-type: none"> - економія палива становить 70-80% [15]; - економія часу на виконання – 1-3, а не 10 технологічних операцій [15, 29]; - підвищення прохідності техніки; - зниження витрат на технічні засоби; - зменшення числа працівників. 	<ul style="list-style-type: none"> - зростання вмісту органічної речовини у ґрунті; - зменшення витрат на добрива; - забезпечення затримання вологи у ґрунті; - краще регулювання температурного режиму ґрунту.
Недоліки		
<ul style="list-style-type: none"> - ймовірність зниження врожайності в перехідний період; - необхідність використання тракторів більшої потужності; - потреба розробки нової техніки для прямого посіву; - зростанням проблем у боротьбі зі шкідниками і хворобами [21]. 		

Аналіз робіт С. Дж Бейкера, К. Е. Сакстона, А. І. Мордуховича, П. В. Сисоліна, Я. Епперляйна, А. Кассама, Л. Хонгвена та інших [13, 15, 17, 20, 21, 29], які присвячені історії та еволюції розвитку прямої сівби, переконує у її перевагах, а також виявляє недоліки порівняно з іншими способами сівби (табл. 1.1).

Світовий досвід розвитку рослинництва засвідчує, що переваги прямої сівби домінують над її недоліками і віна набуває все більшого поширення.

Технологія прямої сівби порівняно з традиційною є відносно складнішим процесом, потребує іншого підходу до культури землеробства і передбачає використання іншої техніки. Таким чином, реалізація переваг прямої сівби і відмова від спеціального попереднього обробітку ґрунту або зведення його до мінімального потребує, фактично, створення нових робочих органів. До їх функцій входять: підготовка поля, яка включає прорізання смуги в ґрунті і рослинних рештках для подальшого проходження сошника; формування ложе борозни під висів насіння; загортання насіння на необхідну глибину; ущільнення борозни.

1.2 Класифікація сівалок і типи висіваючих апаратів

В залежності від способу висіву сівалки поділяють на розкидні, рядкові, вузькорядні, одно зернові (пунктирні), гніздові і квадратно-гніздові.

Для отримання одно зернового посіву розроблена велика кількість конструкцій висіваючих апаратів. Головною метою при розробці висіваючих апаратів прийнято вважати забезпечення максимальної рівномірності висіву насіння при малих нормах висіву. Для цього використовуються, в основному, апарати двох типів: механічні і пневматичні.

До принциповим недоліків пневматичних апаратів слід віднести складність їх конструктивного виконання при простій технологічній схемі.

В наш час переважну роль відіграють механічні висівні апарати, проте роботи над вишукуванням конструкцій пневматичних апаратів тривають.

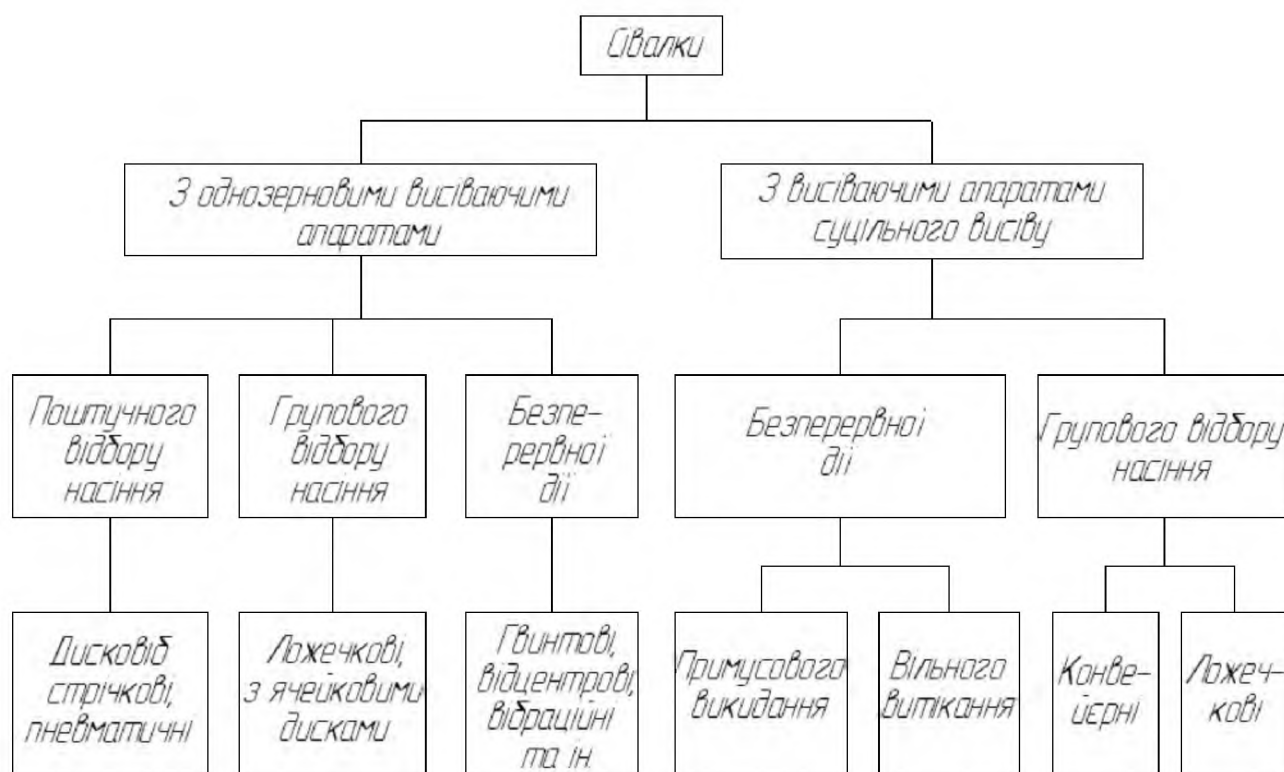


Рисунок 1.2 - Класифікація сівалок

Механічні висівні апарати поділяють на три основні групи: 1) з горизонтальним диском; 2) з робочим органом, що рухається у вертикальній площині; 3) з похилим диском. Апарати другої групи, у свою чергу, є: з кільцем, що обертається у вертикальній площині; барабанно-штокові, які перекочуються по поверхні ґрунту; зі стрічкою на роликах, що обертаються у вертикальній площині.

Признаючи доцільність зазначеної класифікації за конструктивними ознаками, застосовної, в основному, до однозернових апаратів, використаємо дещо іншою класифікацією, основою на технологічних особливостях висівальних апаратів (рис.1.3). згідно цієї класифікації розрізняють висівні апарати:

- 1) з поштучним відбором насіння: дискові, стрічкові, пневматичні (рис. 1.2, а-в);
- 2) з груповим відбором насіння: ложечкові, з великими комірками (рис. 1.2, г, е);
- 3) безперервної дії: гвинтові, відцентрові, котушкові (рис. 1.2, д, є, ж).

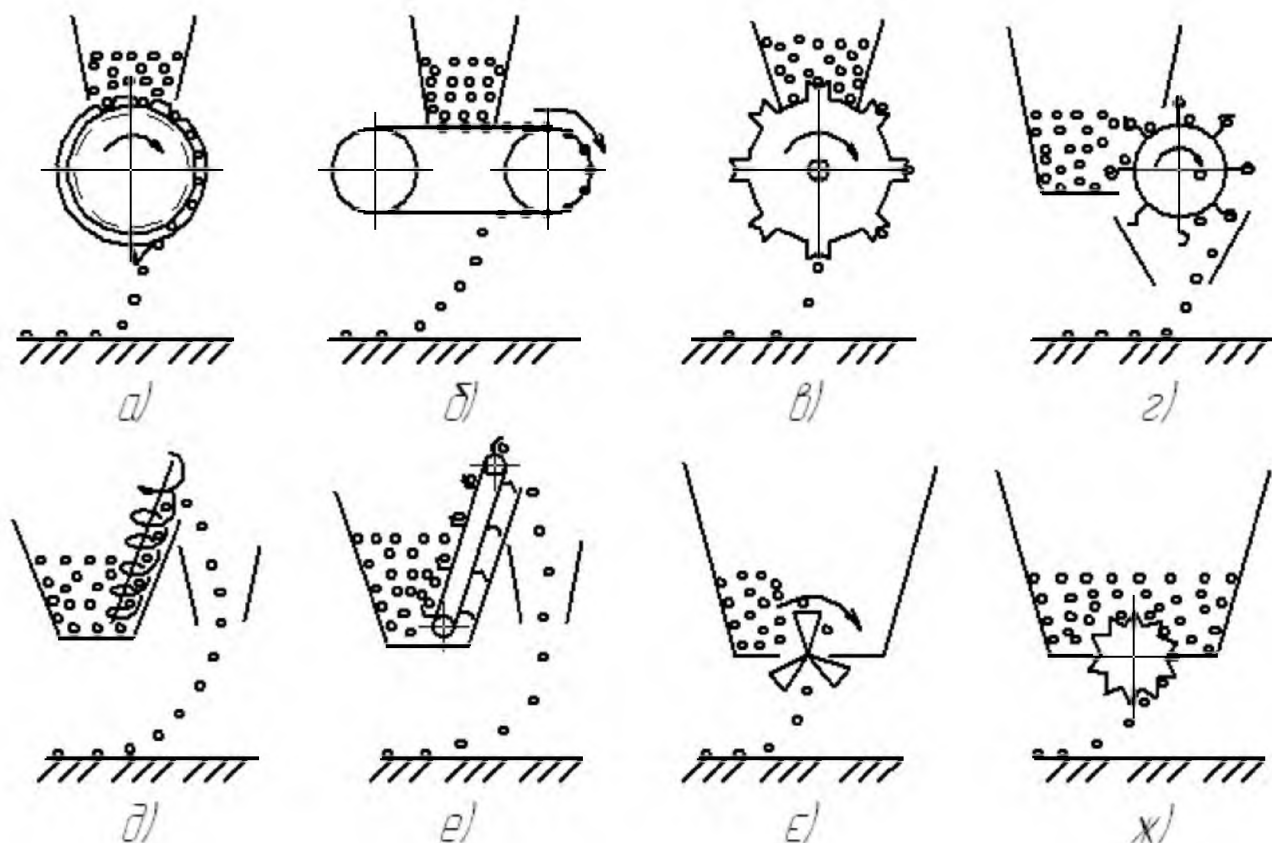


Рисунок 1.3 - Висіваючі апарати сівалок: *а* – з ячеєвим диском; *б* – стрічковий; *в* – пневматичний; *г* – ложечковий; *д* – гвинтовий; *е* – конвеєрний; *є* – метеликовий; *ж* - катушковий

1.3 Аналіз конструкцій сошників

Сошник (сошникова група) є одним із ключових елементів конструкції сівалки. Він визначає технологічне призначення її та дозволяє максимально ефективно використовувати для сівби в заданих конкретних умовах. Враховуючи всі можливі умови сівби, виробники сільськогосподарських машин пропонують сьогодні цілий ряд сошників різних типів, адже саме сівалка, обладнана необхідним типом сошникової групи, може забезпечити розміщення насіння на необхідній глибині та гарантувати цим отримання високих урожаїв.

Таблиця 1.2 - Класифікація сошників для прямого посіву

Сошники для прямого посіву						
За додаванням зусилля від приводу		Безприводні				З приводом
За кутом входження у ґрунт		Тупим	Прямим	Гострим	Комбінованим	
Розподіл за формою утвореної борозни	V-подібною	Дводискові; Трьох- дискові	-	-	Комбіновано-лапові	Суцільним обробітком Ланцюговим обробітком Стрічковим обробітком
	U- подібною	Одно- дискові	-	-		
		-	Трубчасті	-		
	Перевернутою Т-подібною	-	-	Лапові	Комбіновано-лапові	
-		-	-			

Аналіз сучасних тенденцій свідчить про те, що анкерні сошники втрачають актуальність, а долотовидні використовуються тільки за певних умов. Все більше аграріїв віддають перевагу одно- або дводисковим сошниками. На сьогодні близько 85% усіх посівних агрегатів виробники сільгоспмашин постачають з вищевказаними робочими органами. Їх використання дозволяє надійно виконувати технологічний процес, створювати борозну, однак їх застосування призводить до суттєвого збільшення маси сівалки, що є необхідною умовою забезпечення роботи сошників такого типу. Зменшення питомого тиску на сошник, а як наслідок, і зменшення маси сівалки можна досягти в результаті використання сошників із гострим кутом входження у ґрунт. Їх поширення в технологіях прямої сівби обмежується забиванням рослинними рештками. Конструктивне вирішення цієї проблеми відкриє шлях до суттєвого зниження металоємкості посівних машин, а отже, і негативного їх впливу на основний засіб сільськогосподарського виробництва — ґрунт.

Існуючі конструкції сошників для прямої нарізають у ґрунті борозни, у які з певним інтервалом вкладаються насіннини, що чинить тяговий опір. Тому

актуальним є зниження енергозатрат процесу посіву за рахунок розробки таких робочих органів, які б робили не суцільну борозну, а лунки під кожен насіннину окремо.

1.4 Посів цукрового буряка з використанням солом'яної мульчі

У 80-ті роки в країнах Західної Європи почали сіяти цукровий буряк по мульчі, отриманій після збирання проміжної культури (фацелія, гірчиця і ін.). Але вже в 90-х рр. цукрові буряки стали сіяти по солом'яній мульчі (Werner Kropf, 2001).

При цьому способі використовуються залишки попередньої культури і досягається:

- зниження замулювання і ерозії ґрунту;
- підвищення несучої здатності ґрунту шляхом щадного розпушування;
- економія коштів за рахунок зниження інтенсивності обробки при високій врожайності 45-55 т / га і цукристості 18-20%.

Безпосередньо перед сівбою деякі господарства не проводять обробку ґрунту. Це дозволяє краще зберегти шар мульчі, а з ним і всі переваги використання мульчі. Але це вимагає оснащення сівалок спеціальним обладнанням, яке забезпечує проведення "прямого" посіву. Таке обладнання для своїх сівалок випускають всі фірми-виробники техніки.

Частина господарств, у яких площі посіву менш еродовані, проводять весняну підготовку ґрунту на глибину 4-5 см за допомогою компакторів.

Для підгодівлі використовують некореневі добрива. Боротьбу з бур'янами проводять за загальноприйнятими гербіцидними технологіями.

Досвід вирощування цукрового буряка з використанням солом'яної мульчі описаний в роботах фахівців з Німеччини (J. Brunotte, M. Joschko, H. Rogasik, 1998; Werner Kropf, 2001; Clemens Becker, 2001; Rudolf Merkes, 2001; K. Erhard, 2002) . Отримані ними дані показують, що:

1. Ґрунт краще захищена від водної та вітрової ерозії, а також від непродуктивного випаровування вологи, утворення кірки і замулювання. Завдяки

такому способу сівби вдається отримати стабільну врожайність (40-50 т/га) при випаданні в середньому менше 500 мм опадів (20% років - менше 400 мм) в рік.

Господарства, розташовані в горбистій місцевості застосовуючи солом'яну мульчу, отримують високі та надійні врожаї коренеплодів.

2. Підвищується біологічна активність ґрунту, про що свідчить збільшення числа дощових черв'яків, які мають велике функціональне значення для екосистеми ґрунту, так як сприяють утворенню структури ґрунту, росту і розвитку рослин.

3. Мульчуючий спосіб обробітку, завдяки легкому розпушуванню залишків рослин на поверхні, являє концепцію обробки, яка реалізує і захист ґрунту, і економію коштів.

Висока ефективність технології підтверджується зростанням площ, зайнятих в Німеччині цукровими буряками, на яких застосовують посів у солом'яну мульчу (технологія Strip-Till). Обробіток цукрового буряка в рамках успішно випробовується на випробувальній станції Інгер Хоф з 2007 року. Вже 75% полів, зайнятих цукровими буряками, засіваються за технологією Strip-Till.

1.5 Відомості про технологічні процеси та властивості оброблюваних матеріалів

Основний спосіб сівби - пунктирний з шириною міжрядь 45 см, а в умовах зрошення - 60 см. Дуже важливо дотриматись прямолінійності сівби. Використовують сівалки ССТ-12Б, пневматичні сівалки точного висіву СУПК-12А, УПС-12, Мультикорн. Вони повинні забезпечити точне однозернове розміщення насіння в рядку. Механічні сівалки забезпечують точний висів при швидкості 4-6 км/год, пневматичні - при 7-8 км/год. Весь комплекс машин у буряківництві розрахований на чітке дотримання відстані між рядками - 45 см. Глибина загортання насіння - 2,5-3,0 см, а при підсиханні ґрунту - 3,5 - 4,0 см. При сівбі на кінцеву густоту висівають 8-10 схожих насінин на 1 погонний метр рядка, щоб одержати 6-7 сходів. При застосуванні заходів механічного формування густоти висівають до 15 насінин на 1 п. м. рядка. Сівбу на одному полі потрібно закінчувати за 1-2 дні, відхилення середньої глибини загортання

насіння не повинно пере-вищувати $\pm 0,5$ см, а ширина стикових міжрядь повинна становити 50 ± 5 см.

В загальному технологічний процес сівби цукрового буряка розробленою сівалкою можна представити у вигляді схеми (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 - Схема технологічного процесу розробленої сівалки

Оброблюваним матеріалом для сівалки точного висіву є дражоване насіння цукрового буряка. Основні його властивості наводяться в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Основні фізико-механічні властивості дражованого насіння буряка

Показники	Значення
Маса 1000 шт., г	18 – 86
Обємна маса, г/л	305 – 620
Діаметр, мм	3,5 – 5,5
Вологість, %	4 – 12
Коефіцієнт тертя:	
- по сталі	0,4...1,0
- по гумі	0,6...0,9

1.6 Постановка питання, мети і завдання дослідження

Із наведеного вище матеріалу, можна зробити висновок про актуальність прямої сівби насіння цукрового буряка. Також було зазначено, що існуючі конструкції сошників для прямого посіву нарізають у ґрунті борозни, у які з певним інтервалом вкладаються насіннини, що чинить тяговий опір. Тому важливим є зниження енергозатрат процесу посіву за рахунок розробки таких робочих органів, які б робили не суцільну борозну, а лунки під кожен насіннину окремо. Це можна досягнути запропонувавши принципово нову конструкцію сівалки точного висіву.

Тому метою даної роботи є зниження енергозатрат, зменшення матеріаломісткості машини та витрат насінневого матеріалу на основі обґрунтування параметрів і дослідження нової сівалки точного висіву.

Об'єктами досліджень є процес висіву насіння, робочі органи сівалки точного висіву, дражоване насіння цукрового буряка.

Предмет дослідження – залежність показників якості виконання процесу висіву насіння від параметрів і режимів роботи робочих органів сівалки точного висіву.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити задачі, що полягають у дослідженні взаємодії складових сівалки точного висіву з дражованими насінниками цукрового буряка і ґрунтом і встановленні залежностей між параметрами й режимами роботи висіваючого апарата та показниками якості висіву насіння.

У даній роботі необхідно обґрунтувати схему нової сівалки точного висіву. Необхідно визначити: потужність, яку витрачає трактор при роботі з сівалкою, параметри ланцюгової передачі з шарнірнозакріпленими зубами-сошниками, об'єм ємкості для насіння, обґрунтувати параметри пасового висіваючого апарата, визначити форму вітки направляючої, яка працює по принципу мальтійського механізму, для повороту шарнірно закріплених на ланцюзі зубів-сошників запропонувати використати магнітне коромисло; дослідити повноту заповнення комірок насінневого транспортера насінниками, щоб підтвердити роботоздатність даної конструкції висіваючого апарату; вплив швидкості викидання насіння та висоти падіння насіння на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника.

2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Опис конструкції сівалки точного висіву

Головна відмінність розробленої конструкції сівалки від раніше існуючих в тому, що кожна висіяна насінина попадає в окрему ямку в ґрунті, яка приготовлена спеціальним робочим органом.

Даним робочим органом, який утворює в ґрунті ямки і подає в них насінини, є зуб-сошник (рис. 2.1). Він являє собою звужену на кінці трубку 1, в якій рухається стержень 2. Зуби-сошники шарнірно кріпляться на ланцюгу з певним сталим інтервалом один від одного. При входженні зуба-сошника в ґрунт стержень 2 займає своє нижнє положення (поз. А). Зверху в канал вертикально заглибленого в ґрунт зуба-сошника попадає насінина, яка вільно падає. Одночасно стержень 2 починає підніматись аж поки не займе верхнього положення (поз. Б) і не відкриє насінині доступ до попадання в утворене у ґрунті заглиблення.

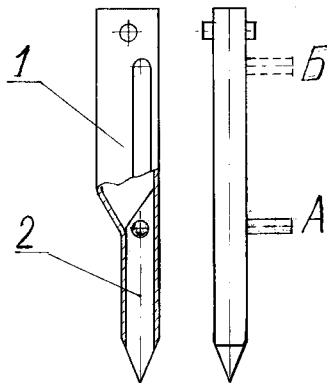


Рисунок 2.1 - Зуб-сошник

Конструкція сівалки точного висіву (рис. 2.2) включає: 1 - привідне колесо; 2 - пасову передачу; 3 - ведучу зірочку; 4 - штирі; 5 - направляючу; 6 - ланцюг; 7 - зуби-сошники; 8 - рухомі стержні зубів-сошників; 9 - конічну шестерню; 10 - нижній шків; 11 - транспортер насінин; 12 і 13 - направляючі планки; 14 - очисник-загортач; 15 - натяжну зірочку; 16 - бункер для насіння; 17 - щиток; 18 - зубчасто-пасову передачу. Ланцюгова передача працює за принципом гусениці, тобто, ведуча 3 і натяжна 15 зірочки перекочуються по ланцюгу 6. Це значить, що

ланки ланцюга в нижній частині ланцюгової передачі нерухомі відносно поверхні ґрунту. А отже, зуби-сошники 7 заглиблені в ґрунт весь час, необхідний для проходження насінин від висіваючого апарату до ямок в ґрунті.

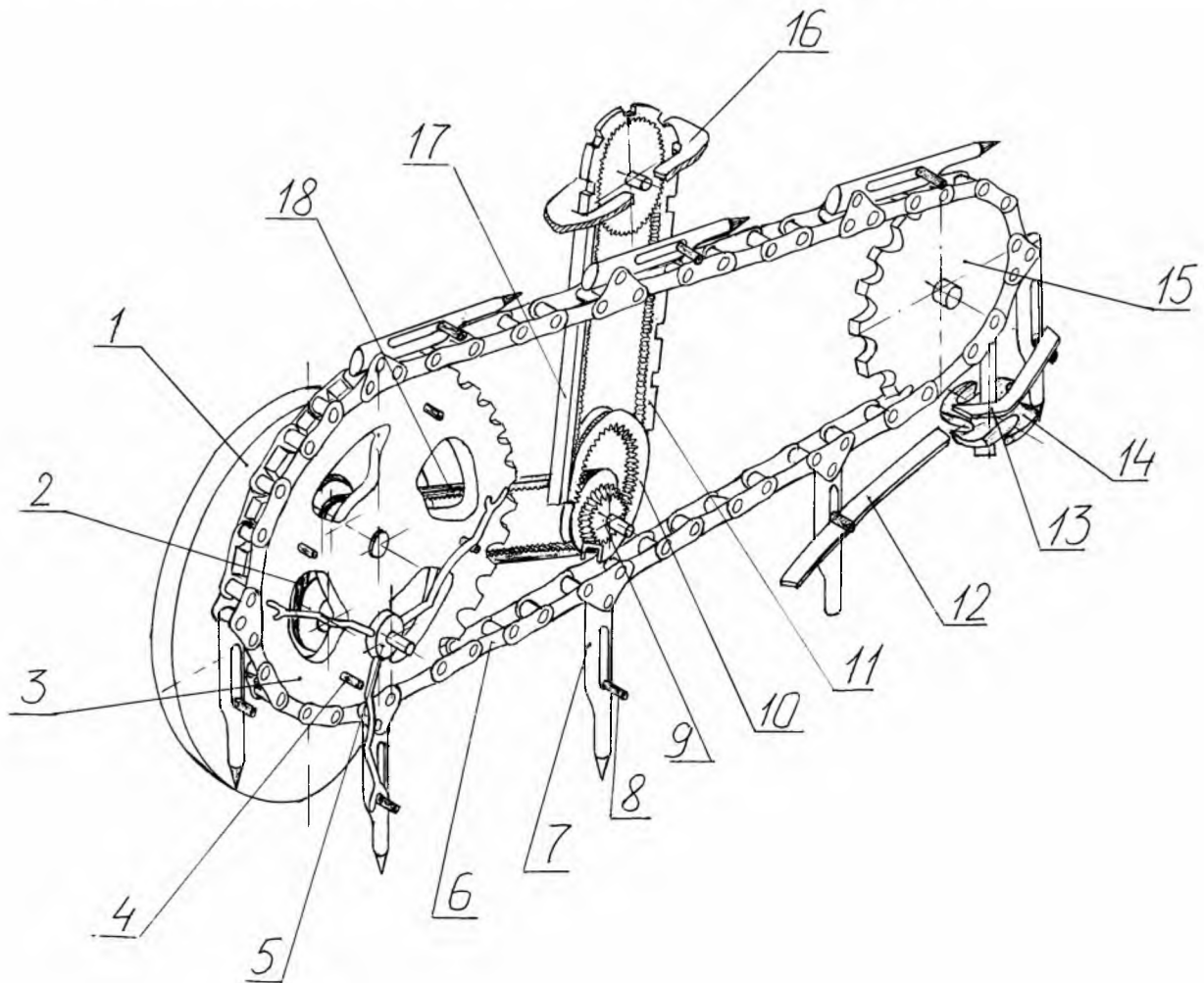


Рисунок 2.2 - Схема сівалки точного висіву

Для того, щоб під час заглиблення зуба-сошника 7 стержень 8 займав своє крайнє нижнє положення і зуб-сошник 7 входив у ґрунт вертикально, служить направляюча 5, яка приводиться в рух від штирів 4, що жорстко закріплені на бічній поверхні привідної зірочки 3.

Принцип роботи сівалки наступний. При русі агрегату колесо 1 контактуючи з поверхнею землі обертається і через зубчасту передачу 2 приводить в рух ведучу зірочку 3. Завдяки контакту з штирями 4 повертається направляюча 5. Один кінець якої вступає в контакт з стержнем 8 зуба-сошника 7,

приводячи його в крайнє нижнє положення. При цьому, по мірі того, як ведуча зірочка 3 накочується на ланцюг 6, зуб-сошник 7 починає заглиблюватись в ґрунт на певну глибину і займає вертикальне положення. Дальше при русі агрегату до зуба-сошника 7 наближається висіваючий апарат, який являє собою зубчастопасову передачу. В цій передачі зубчастий пас являється також і транспортером насіння 11 (на пасі зроблені спеціальні комірочки для насінин), а нижній шків 10 є одночасно і зубчастим колесом зубчастої конічної з внутрішнім зачепленням передачі. Привід висіваючого апарату забезпечує зубчастопасова передача 18, ведучий шків якої жорстко закріплений на валу ведучої зірочки 3, а ведений – жорстко з'єднаний з конічною шестернею 9. Насіння захвачується транспортером 11 у бункері 16. Для запобігання випаданню насінин при транспортуванні служить щиток 17. При наближенні до заглибленого в ґрунт зуба-сошника 7 з висіваючого апарату, а саме з комірочки транспортера 11, випадає насінина, яка попадає прямо в канал зуба-сошника 7.

Дальше при русі агрегату, до заглибленого в ґрунт зуба-сошника 7 наближається піднімальна планка 12. Контактуючи з якою, стержень 8 піднімається до крайнього верхнього положення і відкриває доступ насініні до ґрунту. Дальше ланцюг починає намотуватись на натяжну зірочку 15 і зуб-сошник 7 виймається з ґрунту: стержень 8, взаємодіючи з направляючою пластиною 13, опускається у нижнє положення: зуб-сошник 7 очищується від залишків ґрунту спеціальним очисником-загортачем 14, який також загортає насіння.

Секції сівалки кріпляться на рамі шарнірно, що дає змогу добре копіювати рел'єф поля.

2.2 Технологічний розрахунок сівалки

В завданні на розробку бурякової сівалки нам були задані слідуєчі вимоги, які повинна забезпечувати розроблювана машина — це продуктивність W , клас тяги трактора з яким агрегується сівалка P_m , а також річний об'єм виробництва

W_p , який повинна виконати розроблювана бурякова сівалка.

Розрахунок проводимо по слідуючих формулах:

$W = 0,1 \cdot B \cdot V_i$, з цієї формули визначимо B — ширину захвату сівалки:

$$B = \frac{W}{0,1 \cdot V_m} \quad (2.1)$$

де W — продуктивність сівалки, га/год.; $W = 4,3$ га /год;

V_m - швидкість машини, км /год; $V_m = 8$ км /год.

$$B = \frac{4,3}{0,1 \cdot 8} = 5,375 \text{ м, приймаємо } B = 5,4 \text{ м.}$$

Необхідна потужність на гаку $N_{зк}$ буде:

$$N_{зк} = P_m \cdot V_m; \quad (2.2)$$

де P_m — тяговий опір машини, кН ;

$$V_m = 8 \text{ км /год} = 2,2 \text{ м/с.}$$

Параметр P_m визначається за формулою :

$$P_m = K \cdot B; \quad (2.3)$$

де K – питомий опір , кН/м ; $K = 0,7$ кН/м;

$$P_m = 0,7 \cdot 5,4 = 3,78 \text{ кН.}$$

$$N_{зк} = 3,78 \cdot 2,2 = 8,316 \text{ кВт}$$

Загальна кількість годин чистої роботи, яка виконується розроблюваною сівалкою в рік визначається за формулою :

$$T = \frac{W_p}{W}; \quad (2.4)$$

де W_p — річний об'єм виробництва ,га; $W_p = 175$ га;

W — годинна продуктивність, га /год ; $W = 4,3$ га /год;

$$T = \frac{175}{4,3} = 42 \text{ год.}$$

2.3 Визначення відстані між зубами сошниками

Зуби-сошники в нас закріплені на ланцюгу шарнірно. Задавшись вимогами:

— ширина ланцюга знаходилась в межах 3 см, щоб забезпечити вільне попадання і проходження насіння до сошника ;

— відстань між насінинами в ґрунті повинна бути в межах 20-25 см , або 4-5 насінин на 1 м;

ми вибираємо по [1, т.2] ланцюг ПРД-38,1-2950 за ГОСТом 13568-75 з такими параметрами (рис.2.3): $t=38,1$ мм; $B_{\text{вн}}=12,7$ мм; $d=5,96$ мм; $d_1=11,91$ мм; $h=18,2$ мм; $b=31$ мм; $b_1=17$ мм.

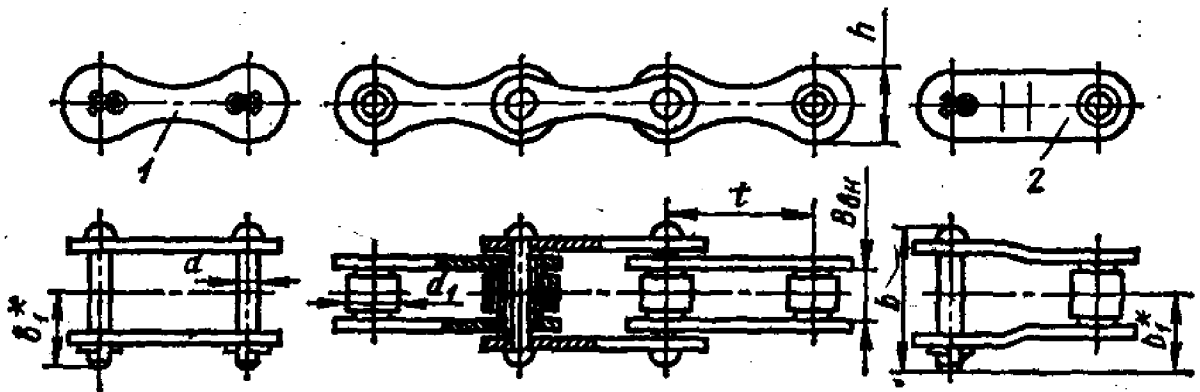


Рисунок 2.3 - Параметри ланцюга: 1 – з'єднувальна ланка; 2 – перехідна ланка

Сошники ми повинні розмістити ,так , щоб між ланками ланцюга, на яких шарнірно закріплені зуби-сошники ,знаходилось непарне число n ланок ланцюга і відстань між сусідніми зубами-сошниками становила 200-250 мм. Складемо рівняння:

$$t(n+1)=200\dots 250;$$

$$38,1(n+1)=200\dots 250;$$

$$n+1 = \frac{200\dots 250}{38,1} = 5,25\dots 6,57, \text{ беремо } n+1=6.$$

Це означає, що на кожній шостій ланці ланцюга ми шарнірно кріпимо зуб-сошник.

Відстань між сошниками буде $t(n+1)=38,1 \cdot 6=228,6$ мм ≈ 23 см.

2.4 Розрахунок параметрів ланцюгової передачі

Розглянемо рис. 2.4. Тут: t - крок ланцюга ; $t=38,1$ мм; r_d - радіус ділильного кола ведучої зірочки, яке проходить через центр шарнірів ланцюга ; h' - відстань від центрів шарнірів ланцюга до центру шарнірного кріплення зуба-сошника. Конструктивно приймаємо $h'=25$ мм.

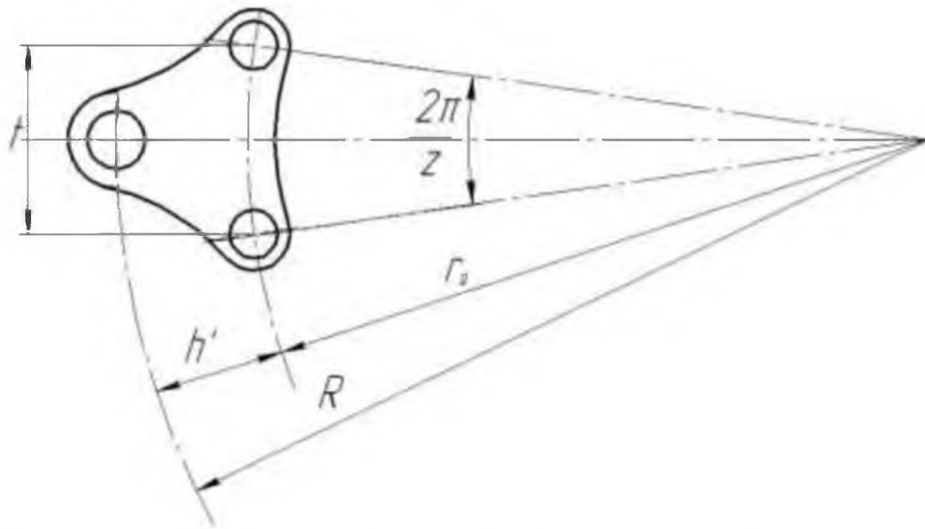


Рисунок 2.4 - Схема ланки ланцюга для кріплення зуба-сошника

Використовуючи тригонометричні формули знайдемо r_d :

$$r_d = \frac{t}{2 \sin\left(\frac{2\pi}{z}/2\right)} = \frac{t}{2 \sin \frac{\pi}{z}}; \quad (2.5)$$

де z - кількість зубів ведучої зірочки .

Приймаючи що за один повний оберт зірочки в ґрунт заглибитися чотири зуби-сошники, ми визначаємо z :

$$z=4(n+1)=4 \cdot 6=24;$$

тоді:

$$r_d = \frac{38.1}{2 \sin \frac{\pi}{24}} = 150 \text{ мм.}$$

$$D_e = \frac{38.1}{\operatorname{tg} \frac{180^\circ}{24}} = 289 \text{ мм.}$$

Натягну зірочку ми прийемо такою самою радіусу, що і ведуча.

Визначимо віддаль, яку пройде насіннина в процесі вільного падіння, від висіваючого апарату до заглибини в ґрунті:

$$H=(h''+5)+h'+\frac{h}{2}; \quad (2.6)$$

де $h''+5$ – віддаль від шарнірного кріплення зуба-сошника до місця розміщення насіннини в ґрунті ; $h''+5=155$ мм;

h' - відстань від центрів шарнірів ланцюга до центру шарнірного кріплення зуба-сошника, $h'=25$ мм;

h - товщина ланцюга, $h=18.2$ мм.

$$H=155+25+\frac{18.2}{2}=189.1 \text{ мм.}$$

Скориставшись відомою фізичною формулою вільного падіння:

$$H = \frac{gt^2}{2}; \quad (2.7)$$

де g - прискорення вільного падіння, $g=9.8$ м/с²;

t - час падіння, с.

Знайдемо t :

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.189}{9.8}} \approx 0.2 \text{ с.}$$

Реальний час проходження насіннини від висіваючого апарату до місця зароблення t' буде:

$$t' = k \cdot t; \quad (2.8)$$

де k - поправочний коефіцієнт, який враховує можливе тертя насіннини об стінки внутрішнього каналу зуба-сошника, $k=1.1$.

$$t' = 1.1 \cdot 0.2 = 0.22 \text{ с.}$$

За цей час t' машина переміститься відносно заглибленого в ґрунт зуба-сошника на деяку відстань l , яка рівна:

$$l = t' \cdot V_m; \quad (2.9)$$

$$l = 0.22 \cdot 2.2 \approx 0.48 \text{ м} = 48 \text{ см.}$$

Це значить, що від моменту випадання насіннини з висіваючого апарату до моменту початку виймання зуба-сошника з ґрунту, машина пройде 48 см, або

проекція на горизонталь відстані від центру нижнього шків висіваючого апарата до центру натяжки зірочки рівна 48 см.

Попередньо виберемо міжосьову відстань в ланцюговій передачі, $\alpha'_w = 72$ см, тоді довжина ланцюга буде:

$$L' = 2\pi \cdot r_d + 2\alpha'_w = 2 \cdot 3.14 \cdot 15 + 2 \cdot 72 = 238 \text{ см.}$$

Довжина ланцюга повинна бути кратна числу зубів-сошників і відстані між ними, тому:

$$L = n \cdot t; \quad n = \frac{L'}{t} = \frac{238}{23} = 10.3,$$

Приймаємо $n = 10$, тоді: $L = 10 \cdot 23 = 230$ см.

$$\alpha'_w = \frac{L}{2} - \pi \cdot r_g = \frac{230}{2} - 3.14 \cdot 15 = 68 \text{ см.}$$

2.5 Розрахунок ємкості бункерів для насіння

З пункту 1 ми знаємо, що абсолютна маса 1000 шт. дражованих насінин рівна 18-86 г, приймаємо 50 г.

Знаючи, що відстань між насінинами розташованими в ґрунті становить 23 см, ми можемо взнати довжину рядка яку засіває одна секція сівалки 1000 шт. насіння.

$$x = 23 \cdot 1000 = 23000 \text{ см} = 230 \text{ м.}$$

З тієї ж таблиці ми беремо, що об'ємна маса дражованого насіння буряків рівна 305-620 г/л. Приймаємо, що об'ємна маса рівна 500 г/л.

Звідси видно, що при абсолютній масі 1000 шт. 50 г, в 1л. насіння міститься 10000 шт. насінин. Це значить, що 1 л насіння хватає, щоб засіяти 2300 м або 2,3 км рядка.

Здамося об'ємом одного бункера для насіння 8 л. Це значить, що об'єму цього бункера хватить на: $8 \cdot 23 = 18,4$ км.

Коефіцієнт використання об'єму бункера приймемо рівним 0,87. Тоді однієї заправки бункера насінням хватає на: $18,4 \cdot 0,87 = 16,01$ км, або (враховуючи, що

швидкість агрегату 8 км/год) на 2 години роботи.

Маса насіння рівна $8\text{л} \cdot 500\text{г/л} = 4000\text{ г} = 4\text{ кг}$, а його вага 40 Н.

2.6 Розрахунок передач

Для оптимальної роботи сівалки точного висіву необхідно, щоб зуби-сошника входили в ґрунт і знаходились в ньому в вертикальному положенні. А для цього необхідно, щоб всі точки зуба-сошника мали однакову швидкість.

Розглянемо рис.2.5.

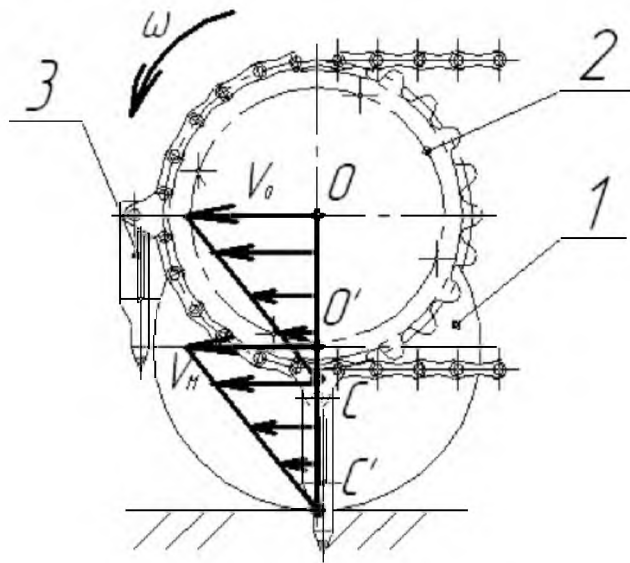


Рисунок 2.5 - Схема до визначення параметрів ланцюгової передачі:

1 - привідне колесо; 2 - ведуча зірочка; 3 - зуб-сошник

При русі машини, колесо 1 перекочується. В т. C' буде миттєвий центр швидкостей, тобто $V_{C'}=0$. Кутова швидкість обертання колеса 1 буде :

$$\omega = \frac{V_0}{R};$$

де V_0 -швидкість т. O ; $V_0=V_M=2.2\text{ м/с}$.

R – радіус колеса.

З рис. 2.6 видно, що для того, щоб зуб-сошник зберігав вертикальне положення потрібно, щоб в т. C , його швидкість $V_C=0$. Це значить, щоб:

$$\omega \cdot R = V_M,$$

де ω - кутова швидкість зірочки;

R - радіус-відстань від центра O' до центру шарнірного кріплення зубашника.

$$R = r_g + h', \text{ (рис. 2.5. пункт.2.4).} \quad R=150+25=175 \text{ мм.}$$

Тоді кутова швидкість ведучої зірочки :

$$\omega = \frac{V_m}{R} = \frac{2,2}{0,175} = 12,57 \text{ с}^{-1}.$$

Прийmemo , що приводне колесо має таку саму кутову швидкість рівну ω . Це значить, що радіус приводного колеса має бути рівним $R=175$ мм. Але відомо, що приводне колесо буде рухатись коченням з ковзанням .

Візьmemo коефіцієнт ковзання $\varepsilon=0,03$, [27]:

$$E = \frac{\Delta R}{R' + \Delta R} ; \quad (2.10)$$

де $R' + \Delta R$ - радіус уявного кола; $R' + \Delta R = 175$ мм.

$$\Delta R = E(R' + \Delta R) = 0.03 \cdot 175 = 5 \text{ мм.}$$

Тоді реальний радіус приводного колеса буде: $R' = 175 - 5 = 170$ мм.

Щоб передати однакову кутову швидкість ω від приводного колеса 1 до ведучої зірочки 2 використаємо циліндричну зубчасту прямозубу евольвентну передачу зовнішнього зачеплення рис. 2.6.

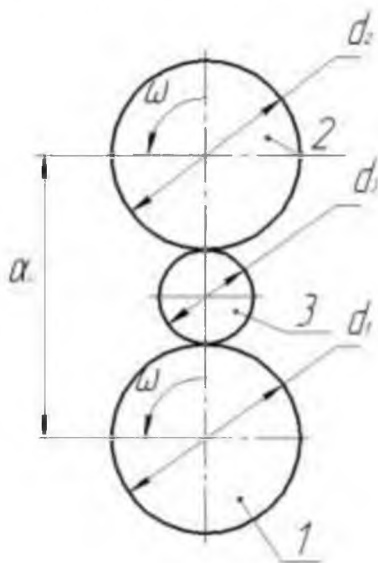


Рисунок 2.6 - Схема зубчастої передачі:

1 – ведуча шестірня; 2 - ведене колесо;

3- проміжна шестірня

Не важко здогадатись, щоб для того, щоб шестірні 1 і 2 мали однакову кутову швидкість потрібно, щоб $d_1 = d_2$.

Проміжна шестірня 3 потрібна для того, щоб 1 і 2 обертались в одну сторону . Знайдемо α_{ω} – відстань між центром привідного колеса і центром ведучої зірочки.

$$\alpha_{\omega} = R + (h'' + 5) - h''' - R'; \quad (2.11)$$

де R - відстань від центру ведучої зірочки до центру шарнірного кріплення зуба-сошника; $R = 175$ мм;

$h'' + 5$ – відстань від шарнірного кріплення зуба-сошника до місця розміщення насінини в ґрунті ; $h'' + 5 = 155$ мм;

h''' – глибина зароблення насіння, $h''' = 30$ мм.

R' - радіус привідного колеса ; $R' = 170$ мм.

$$\alpha_{\omega} = 175 + 150 - 35 - 170 = 120 \text{ мм.}$$

Приймемо модуль цієї передачі $m = 2$. Візьмемо ділительний діаметр проміжної шестерні $d = 40$ мм. Тобто число зубів проміжної шестерні буде :

$$Z = \frac{d}{m} = \frac{40}{2} = 20.$$

Тоді ділительний діаметр шестірні 1 і колеса 2 будуть рівні між собою і дорівнювати : $d_1 = d_2 = \alpha_{\omega} - d = 120 - 40 = 80$ мм., і число зубів шестірні і колеса буде :

$$Z_1 = Z_2 = \frac{d_2}{m} = \frac{80}{2} = 40.$$

Діаметр вершини проміжної шестерні d_a буде:

$$d_a = m(z + 2) = 2(20 + 2) = 44 \text{ мм;}$$

діаметр впадин проміжної шестерні d_f , буде:

$$d_f = m(z - 2.5) = 2(20 - 2.5) = 35 \text{ мм.}$$

Діаметри вершин шестерні 1 і колеса 2 будуть :

$$d_{a1} = d_{a2} = m(z_2 + 2) = 2(40 + 2) = 84 \text{ мм;}$$

діаметри впадин шестірні 1 і колеса 2 будуть:

$$d_{f1} = d_{f2} = m(z_2 - 2.5) = 2(40 - 2.5) = 75 \text{ мм.}$$

Ширину шестірень і колеса приймаємо рівну: $B = 15$ мм.

Дальше нам потрібно передати крутний момент на привід висіваючого

апарату. Для цього ми використовуємо зубчасту пасову передачу .

Ведучий шків цієї передачі жорстко зв'язаний з ведучою зірочкою ланцюгової передачі і обертається з однаковою з нею кутовою швидкістю $\omega=12.57 \text{ c}^{-1}$. Конструктивно задамося вихідними даними, для цього шківа:

- модуль передачі $m=3$;
- число зубів ведучого шківа $z_1=23$.

Тоді діаметр ділительного кола D_{01} , буде:

$$D_{01}=m \cdot z_1=3 \cdot 23=69 \text{ мм.}$$

Розрахунковий діаметр шківа визначаємо по формулі:

$$D_{н1}=D_{01}-2\delta+k, \quad (2.12)$$

де δ – відстань від западин паса до його нейтрального шару; $\delta=0,6$ мм.

k – поправка до діаметру; $k=0,13$ мм.

$$D_{н1}=69-2 \cdot 0,6+0,13=67,93 \text{ мм.}$$

Ширина шківа $B_1=10$ мм.

Ведомий шків жорстко закріплений на нижньому валу висіваючого апарата і надає йому крутний момент, потрібний для приводу висіваючого апарата. Відомий шків ми виготовляємо такого самого діаметр , що і ведучий.

Це значить, що він буде обертатись з кутовою швидкістю $\omega=12.57 \text{ c}^{-1}$;
 $D_{02}=D_{01}=69$ мм; $D_{н2}=D_{н1}=68$ мм; $B_2=B_1=10$ мм.

Останні геометричні розміри вибираються з відповідних таблиць і будуть вказані на робочому кресленні ведучого шківа.

Попередньо з компоновочної схеми вибираємо міжосьову віддаль $A'_0=270$ мм.

Тоді попередня довжина паса L'_0 , буде :

$$L'_0 = 2A'_0 + \frac{\pi}{2}(D_{02} + D_{01}) + \frac{(D_{02} + D_{01})^2}{4A'_0};$$

$$L'_0 = 2 \cdot 270 + 3,14 \cdot 69 = 757 \text{ мм.}$$

З [9] нам відомо що для зубчатого паса з $m=3$ крок зубів буде: $t_p=9.42$ мм.

Тоді кількість зубів зубчатого паса : $Z_{po} = \frac{L'_0}{t_p};$

$$Z_{p0} = \frac{757}{9.42} = 80.4. \text{ Приймаємо } Z_{p0} = 80.$$

Тоді довжина паса буде : $L_0 = Z_{p0} \cdot t_p = 80 \cdot 9.42 = 753.6$ мм, а остаточна

$$\text{міжосьова відстань } A_0: \quad A_0 = \frac{L_0}{2} - \frac{\pi(D_{02} + D_{01})}{4} = \frac{753.6}{2} - \frac{3.14 \cdot 69}{2} = 268 \text{ мм.}$$

Ширину паса приймаємо рівну $b=8$ мм. Останні розміри можна взяти з [9].

2.7 Розрахунок параметрів висіваючого апарату

Для даної бурякової сівалки точного висіву ми розробили висіваючий апарат (ячеїстого) типу у вигляді паса з отворами для насінин , який здійснює механічну виборку насіння з бункера, а транспортування і викидання безпосередньо в канал зуба-сошника.

З [7] нам відомо, що для заповнення гнізд паса в бункері насінням потрібно, щоб швидкість потоку гнізд V_2 ,була рівна 0,25-0,30 м/с . Це значить , що нам потрібно досягнути таку кутову швидкість нижнього шківів, щоб пас рухався з швидкістю V_2 .

Нам відомо, що вал приводу висіваючого апарату обертається з кутовою швидкістю $\omega=12.57 \text{ c}^{-1}$.

Також крім цієї умови нам потрібно задовольнити , ще одну вимогу, а саме: висіваючий апарат повинен бути відхилений від площини, в якій розміщена ланцюгова передача на кут $\varphi=7^\circ$. Ці дві вимоги можна задовольнити, якщо використати зубчасту конічну прямозубу евольвентну з внутрішнім зачеплення передачу.

а) Проектування зубчастої конічної прямозубої евольвентної з внутрішнім зачепленням передачі.

Розрахунок почнемо з того. що виведемо формулу для знаходження кутів зубів колеса і шестерні.

Для цього розглянемо рис. 2.7. Тут : r - радіус шестерні; R - радіус колеса; φ - кут нахилу колеса; α_1 - кут конуса шестерні; α_2 - кут конуса колеса; BA -лінія контакту шестерні з колесом.

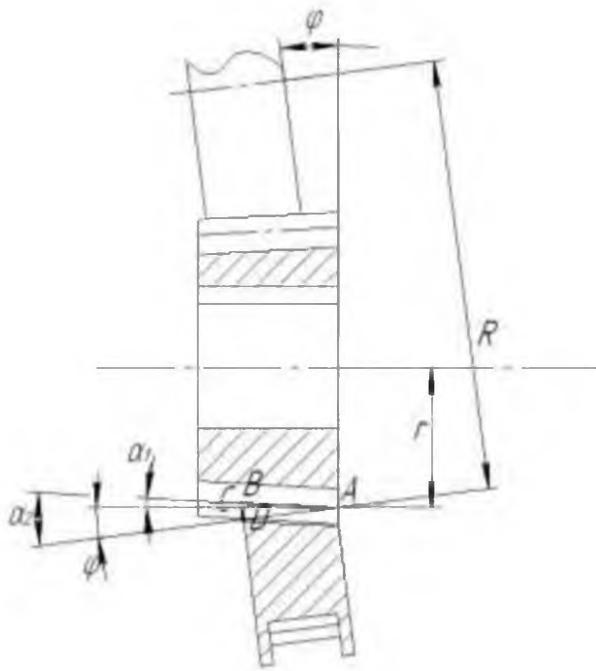


Рисунок 2.7 - Зубчаста передача з внутрішнім зачепленням

В точці A шестірня і колесо будуть мати однакову швидкість V , аналогічно і в точці B вони будуть мати швидкість V' .

Шестірня буде мати кутову швидкість $\omega_{ш}$:

$$\omega_{ш} = \frac{V}{R} = \frac{V'}{r - BC}; \quad (2.13)$$

де BC з $\triangle BCA$, в якому $\angle C = 90^\circ$, $\angle A = \alpha_1$, буде рівна:

$$BC = BA \cdot \sin \alpha_1; \quad (2.14)$$

Колесо буде також мати свою кутову швидкість ω_k :

$$\omega_k = \frac{V}{R} = \frac{V'}{R - BD}; \quad (2.15)$$

де BD з $\triangle BDA$, в якому $\angle D = 90^\circ$, $\angle A = \alpha_2$, буде рівна :

$$BD = BA \cdot \sin \alpha_2; \quad (2.16)$$

З формули (2.13) і (2.14) визначемо V' :

$$V' = \frac{V \cdot r}{r - BA \sin \alpha_1}, \quad (2.17)$$

А з формул (2.15) і (2.16) одержимо:

$$V = \frac{V' R}{R - BA \sin \alpha_2}; \quad (2.18)$$

В формулах (2.17) і (2.18) однакові ліві частини, тому можна прирівняти їх праві частини. Пророблюючи цю дію і враховуючи те, що $\alpha_2 = \alpha_1 + \varphi$ ми проробимо арифметичні дії і спрощення.

$$\begin{aligned} \frac{V'r}{r - B \sin \alpha_1} &= \frac{V'R}{R - B \sin \alpha_2}; \\ \frac{r - B \sin \alpha_1}{r} &= \frac{R - B \sin \alpha_2}{R}; \\ 1 - \frac{B \sin \alpha_1}{r} &= 1 - \frac{B \sin \alpha_2}{R}; \\ \frac{\sin \alpha_1}{r} &= \frac{\sin \alpha_2}{R}; \quad \frac{\sin \alpha_1}{r} = \frac{\sin(\alpha_1 + \varphi)}{R}; \\ \frac{\sin \alpha_1}{r} &= \frac{\sin \alpha_1 \cdot \cos \varphi + \sin \varphi \cdot \cos \alpha_1}{R}; \\ \sin \lambda_1 \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r} \cos \varphi \right) &= \frac{1}{R} \sin \varphi \cdot \cos \lambda_1; \\ \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{\frac{1}{R} \cdot \sin \varphi}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \cdot \cos \varphi}; \quad \alpha_1 = \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{1}{R} \sin \varphi}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \cos \varphi} \right). \end{aligned} \quad (2.19)$$

Попередньо перебравши на чернетці декілька варіантів ми вибрали $r=17$ мм; $R=55$ мм, тоді підставивши це і $\varphi=7^\circ$ в формулу (2.19) одержимо:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{1}{55} \sin 7^\circ}{\frac{1}{17} - \frac{1}{55} \cos 7^\circ} \right) = 3^\circ; \\ \alpha_2 &= \alpha_1 + \varphi = 3^\circ + 7^\circ = 10^\circ. \end{aligned}$$

Прийmemo модуль цієї передачі $m=2$. Тоді кількість зубів шестірни буде:

$$Z_u = \frac{d_u}{m} = \frac{2r}{m} = \frac{2 \cdot 17}{2} = 17; \text{ а колеса: } Z_k = \frac{d_k}{m} = \frac{2R}{m} = \frac{2 \cdot 55}{2} = 55;$$

Діаметер вершини відповідно :

$$\text{шестірни } d_{au} = d_u + 2 \cdot m = 34 + 2 \cdot 2 = 38 \text{ мм};$$

$$\text{колеса } d_{ak} = d_k + 2 \cdot m = 110 + 2 \cdot 2 = 106 \text{ мм}.$$

Діаметер впаден відповідно :

$$\text{шестірні } d_{fu} = d_u + 2.5 \cdot m = 34 - 2.5 \cdot 2 = 29 \text{ мм};$$

$$\text{колеса } d_{fk} = d_k + 2.5 \cdot m = 110 - 2.5 \cdot 2 = 115 \text{ мм}.$$

Ширину вінця шестірні і колесе берем з компоновочного креслення і приймаємо: $B_u = 18 \text{ мм}$; $B_k = 12 \text{ мм}$.

Скориставшись формулами (2.13) і (2.15) ми одержимо , що

$$\frac{\omega_u}{\omega_k} = \frac{R}{r} \quad (2.20)$$

Шестірня розміщена на одному валу з введим шківом , який обертається з кутовою швидкістю $\omega = 12.57 \text{ с}^{-1}$. Це значить .що $\omega_u = \omega = 12.57 \text{ с}^{-1}$.

$$\text{Тоді з формули (2.20) одержимо : } \omega_k = \frac{\omega_u \cdot r}{R} = \frac{12.57 \cdot 17}{55} = 3.89 \text{ с}^{-1}.$$

2.8 Розрахунок транспортера насіння

Цей транспортер являє собою зубчасто-пасову передачу, в якій зубчастий пас являє собою також пас з гніздами для насіння.

Колесо циліндричної внутрішньої передачі являє собою також ведучий шків цієї передачі.

Прийmemo діаметр ділильного кола ведучого шківа $D_{01} = 141 \text{ мм}$.

Тоді швидкість руху зубчатого пасу буде :

$$V_n = R_1 \cdot \omega_k = \frac{D_{01}}{2} \cdot \omega_k = \frac{0.141}{2} \cdot 3.89 = 0.27 \text{ м/с}.$$

Це задовольняє раніше поставлену вимогу, що $V_n = V_z$ лежить в межах 0,25-0,30 м/с.

Тоді кількість зубів ведучого шківа :

$$Z_1 = \frac{D_{01}}{m} = \frac{141}{3} = 47.$$

Розрахунковий діаметр ведучого шківа буде обчислюватись по формулі (2.12):

$$D_{n1} = D_{01} - 2\delta + k = 141 - 2 \cdot 0.6 + 0.13 = 140 \text{ мм}.$$

Прийmemo ведомий шків зубчасто-пасової передачі, рівний ведучому, тобто:

$$Z_2 = 47;$$

$$D_{02} = D_{01} = 141 \text{ мм};$$

$$D_{н2} = D_{н1} = 140 \text{ мм}.$$

Тепер розрахуємо зубчастий пас з гніздами для насіннин. Нам відомо, що відстань між сусідніми зубами-сошниками рівна 23 см і швидкість відносного руху агрегата по відношенню до заглибленого в ґрунт зуба-сошника рівна 8 км/год або 2,2 м/с. Також нам відомо, що швидкість руху зубчастого пасу рівна 0,27 м/с. Знаючи це, ми можемо визначити відстань яка повинна бути між сусідніми гніздами для насіння на зубчастому пасі, щоб в момент випадання з гнізда висіваючого апарату насінина падала точно в канал зуба-сошника.

Складемо пропорцію: 2,22 м/с - 23 см

$$0,27\text{м/с} - x \text{ см},$$

де x - шуканий інтервал між гніздами для насінин.

$$x = \frac{0,27 \cdot 23}{2,22} = 2,8 \text{ см}.$$

Ми знаємо, що модуль зубчасто-пасової передачі $m=3$. З [9] ми дізнаємося, що крок зубів зубчастого паса $t=9.42$ мм. Це значить, що кількість зубів зубчастого паса повинна бути кратна 3, щоб зберігався інтервал між гніздами для насіння.

Розрахуємо довжину паса і міжосьову віддаль між шківками.

Попередньо із компоновочної схеми вибираємо міжосьову відстань $A_0=300$ мм.

Тоді розрахункова довжина паса [9]:

$$L_0 = 2A_0 + \frac{\pi}{2}(D_{02} + D_{01}) + \frac{(D_{02} - D_{01})^2}{4A_0};$$

$$L_0 = 2 \cdot 300 + \frac{\pi}{2}(141 + 141) = 1043 \text{ мм}.$$

Тоді попереднє число зубів буде :

$$Z_{p0} = \frac{L_0}{L_p} = \frac{1043}{9.42} = 111.$$

Число 111 кратне 3: $\frac{111}{3}=37$. Це значить, що вибрана між нами осьова відаль задовільняє нашу вимогу. І тому остаточно приймаємо: $A=300$ мм; $L=1043$ мм; $Z_p=111$, число гнізд на зубчастому пасі $n_2=37$.

Підберемо необхідні розміри гнізд для насінин. За вихідний параметр візьмемо середній розмір дражованої насінини $S=5,5$ мм з табл. 1.2

На рис. 2.8 схематично зображено гніздо для насінини. Тут h - глибина гнізда; b - ширина зубчастого паса; a - довжина гнізда; a_0 - довжина гнізда в положенні коли гніздо удержує насінину від випадання – пас не перегинається.

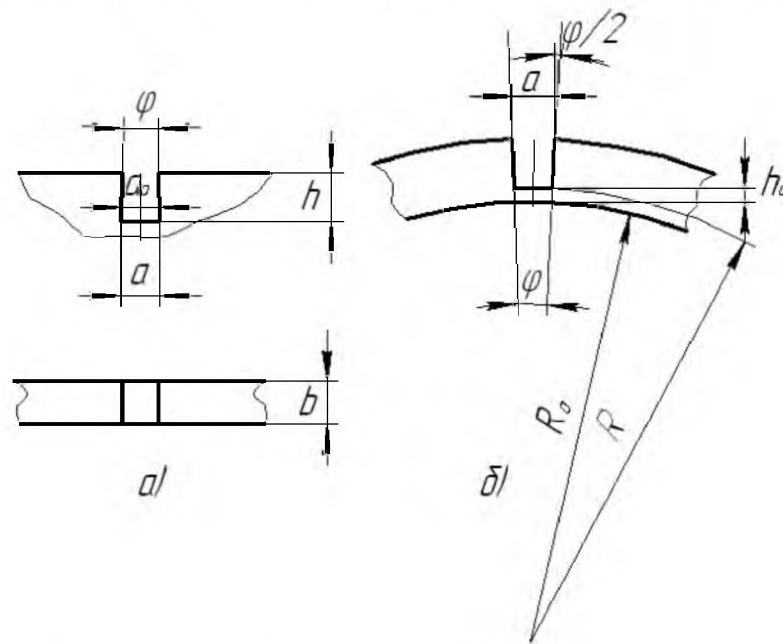


Рисунок 2.8 - Параметри гнізда для насінини:

а – прямолінійна вітка паса; б – пас огинає шків

Щоб насінина попала в гніздо потрібно, щоб виконувались умови $a>S$ і $b>S$.

Прийемо $a=7$ мм; $b=7$ мм; $h=5$ мм. З рис. 2.8,б видно, що

$$a = 2 \cdot R \sin \frac{\varphi}{2}, \quad (2.21)$$

де $R = R_a + h_0 = \frac{D_0}{2} + h_0 = \frac{141}{2} + 2 = 72,5$ мм.

З формули (2.21) визначимо кут φ :

$$\frac{\varphi}{2} = \arcsin \frac{a}{2R} = 2 \arcsin \frac{7}{2 \cdot 72,5} = 2,77^\circ, \text{ тоді } a_0 = a - h \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = 7 - 5 \cdot \operatorname{tg} 2,77 = 6,77 \text{ мм.}$$

2.10 Визначення форми направляючої

Направляюча призначена для того, щоб в певні моменти часу підводити стержень зуба-сошника в нижнє положення і направляти зуб-сошник так, щоб він вертикально заглиблювався в землю. В рух направляюча приводиться від штирів, розміщених на ведучій зірочці ланцюгової передачі, по принципу мальтійського механізму: в певні моменти часу відповідна вітка направляючої взаємодіє з штирем.

Знайдемо форму ділянки вітки направляючої де відбувається ця взаємодія. Будуємо коло I (рис. 2.9) з центром в точці O і радіусом R , який рівний віддалі від центру ведучої зірочки до точки кріплення зуба-сошника на ланцюгу, коли останній огинає цю зірочку. Нижче точки O на віддалі k , яка рівна віддалі від центру закріплення зуба-сошника до крайнього нижнього положення стержня ставимо точку O_1 і будуємо коло II радіуса R .

На ведучій зірочці по колу радіуса R^* розміщені чотири штирі – кут між ними 90° . Направляюча має три вітки кут між якими 120° . Промені m , які виходять з центра O , характеризують положення штиря, а промені n – положення вітки направляючої, з якою взаємодіє цей штир. Так як штирів більше ніж віток направляючої, то в певні проміжки часу промені m повинні обертатись відносно точки O' (коло II) швидше ніж промені n відносно O (коло I) – за час, коли точка шарнірного кріплення зуба-сошника пройде дугу WV (поворот n на 90°) кінець вітки направляючої опише дугу $W'V'$ (поворот m на 120°). Але на проміжку $UV = U'V'$ промені повинні обертатись рівномірно (це відповідає періоду коли зуб-сошник вертикально заглиблюється в ґрунт) – m/n .

Розмістимо штирі відносно променів n так, щоб не було заклинювання направляючої. Розглянемо точку F – це відповідає тому, коли направляюча уявно перетинає траєкторію руху штирів. Цьому положенню променя m відповідає положення променя n ($\angle W'O'F = \angle WOE$). Щоб виконувалась умова незаклинювання, штир T повинен бути вище m на деякій віддалі TM від n ($TM > FM$). FM приблизно дорівнює довжині дуги кола радіуса R^* :

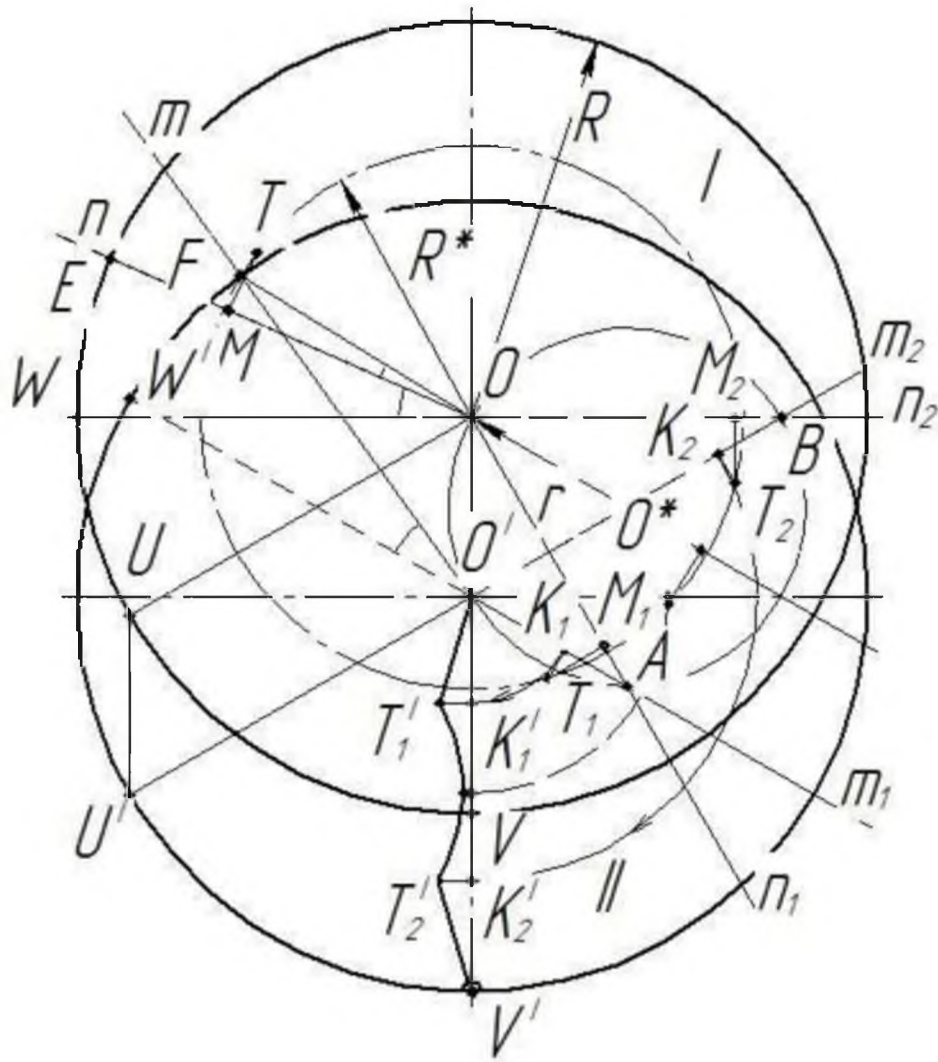


Рисунок 2.9 - Схема до визначення форми направляючої

$$FM \approx \pi \cdot R^* \cdot \alpha / 180^\circ, \quad (2.22)$$

де $\angle \alpha = \angle TOM$. Знайдемо цей кут. Розглянемо трикутник FOO' , в якому відомі довжини усіх сторін: $FO = R^*$, $FO' = R$, $OO' = k$.

$\angle MOW = \angle FO'W'$, який в свою чергу рівний $60^\circ - \angle OO'F$. З трикутника $OO'F$ за теоремою косинусів знайдемо:

$$\begin{aligned} \angle OO'F &= \arccos((-FO^2 + FO'^2 + OO'^2) / (2 FO' \cdot OO')) = \\ &= \arccos((-R^{*2} + R^2 + k^2) / (2 R \cdot k)), \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} \angle FOO' &= \arccos((-FO^2 + FO'^2 + OO'^2) / (2 FO \cdot OO')) = \\ &= \arccos((-R^2 + R^{*2} + k^2) / (2 R^* \cdot k)). \end{aligned} \quad (2.24)$$

$$\text{Тоді } \angle MOW = 60^\circ - \arccos((-R^{*2} + R^2 + k^2) / (2 R \cdot k)). \quad (2.25)$$

$\angle TOM = \angle FOO' - (90^0 + \angle MOW)$. З цієї формули користуючись формулами (2.23) і (2.24) після спрощень отримуємо:

$$\begin{aligned} \angle \alpha = \angle TOM = & \arccos ((-R^2 + R^{*2} + k^2) / (2 R^* \cdot k)) + \\ & + \arccos ((-R^{*2} + R^2 + k^2) / (2 R \cdot k)) - 150^0. \end{aligned} \quad (2.26)$$

Підставивши цей вираз у (2.22) маємо нерівність, яка виражає умову незаклинювання:

$$\begin{aligned} TM > \pi \cdot R \cdot (\arccos ((-R^2 + R^{*2} + k^2) / (2 R \cdot k)) + \\ + \arccos ((-R^{*2} + R^2 + k^2) / (2 R \cdot k)) - 150^0) / 180^0. \end{aligned} \quad (2.27)$$

При входженні зуба-сошника в ґрунт вітка направляючої, яка на кінці має захват, буде утримувати стержень зуба-сошника у крайньому нижньому положенні. Поворот же направляючої буде відбуватися за рахунок дії штиря ведучої зірочки на сусідню вітку направляючої. На рис. 2.9 ця дія відповідає переміщенню точки перетину променів n і m від точки A до B . Умова $UV = U'V'$ забезпечується тим, що вітка направляючої має криволінійну форму – її точки порізному віддалені від променя m . Знайдемо форму вітки направляючої двома способами: графічним і математичним.

Графічний спосіб полягає в наступному. Відкладемо (рис. 2.9) відносно прямої n_1 на віддалі TM точку T_1 , яка знаходиться на колі радіуса R^* . Проведемо перпендикуляр з точки T_1 на пряму m_1 і позначимо перетин точкою K_1 . Розхилом циркуля OK_1 з точки O' на прямій $O'V'$ робимо засічку K'_1 . Через точку K'_1 до $O'V'$ проводимо перпендикуляр, на якому відкладаємо відрізок K_1T_1 і шукаємо точку T'_1 . Так само виконуємо побудову і для випадку 2 – шукаємо точку T'_2 . Проводячи аналогічним чином побудову для всіх перетинів променів m_i і n_i (від точки A до B), знаходимо множину точок T'_i , з'єднавши які отримуємо шукану форму вітки направляючої (рис. 2.9).

Розглянемо математичний метод.

Як видно з рис. 2.11. $\angle OAO' = 120^0 - 90^0 = 30^0$ і $\angle OBO' = 30^0$, так як $UO // U'O'$. Теорема з геометрії говорить: “Усі вписані в коло кути, сторони яких проходять через дві дані точки, а вершина лежить по один бік від прямої, що сполучає ці точки, рівні між собою”. Виходячи з цієї теореми всі точки перетину променів m_i і

n_i від точки A до B будуть лежати на колі. Знайдемо радіус цього кола. Інша теорема твердить: “ Вписаний в коло кут, сторони якого проходять через дві дані точки кола, дорівнює половині кута між радіусами, проведеними в ці точки, або доповнює половину цього кута до 180° . Так як $\angle OBO' = 30^\circ$, то кут між шуканим центром кола O^* і точками O і O' $\angle OO^*O' = 2 \cdot 30^\circ = 60^\circ$. І $\angle OO'O = 180^\circ - (60^\circ + 60^\circ) = 60^\circ$ ($\angle OO'B = 60^\circ$) – це значить, що трикутник $OO'O$ - рівнобічний і $O^*O' = OO'$. З трикутника BOO' ($\angle O = 90^\circ$): $OO' = OB \cdot \sin 30^\circ = OB / 2$. Отже точка O^* лежить на OB і радіус $r = O'O^* = OB / 2$.

Розглянемо трикутник O^*LC (рис. 2.10,а): $\angle L = 90^\circ$, $\angle CO^*L = \delta$, $CL = O^*C \cdot \sin \delta = r \sin \alpha$, $\angle COL = \gamma$, причому $2\gamma = \delta$. Віддаль від точки O до будь-якої точки на колі радіуса r рівна

$$r' = CL / \sin \gamma = r \sin \alpha / \sin \gamma = r \sin 2\gamma / \sin \gamma = 2r \cos \gamma. \quad (2.28)$$

Кут γ для нашого випадку буде змінюватись від -30° до 30° .

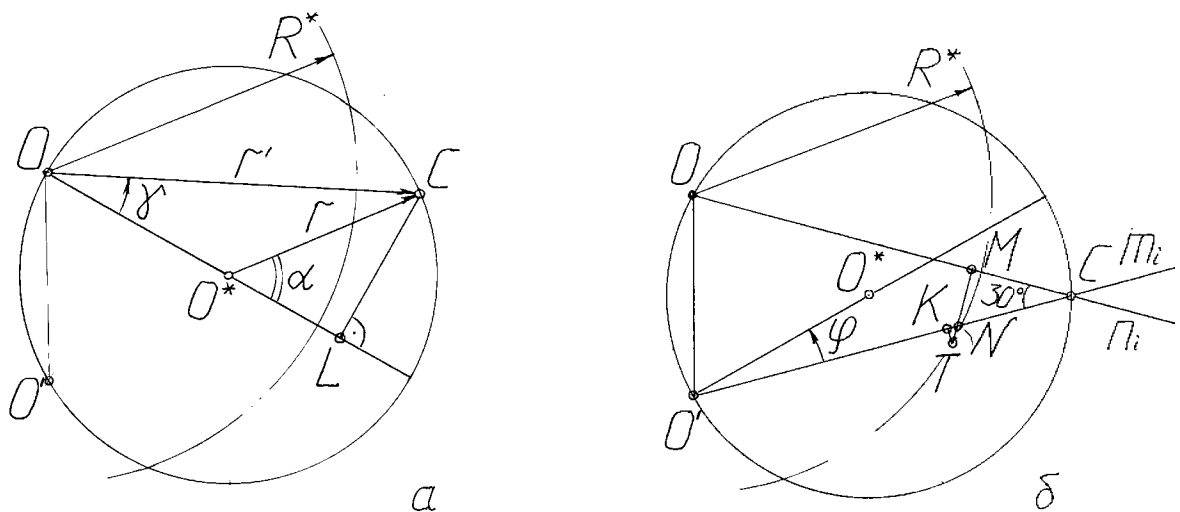


Рисунок 2.10 - Схеми до виведення формул для визначення форми направляючої

Розглянемо на рис. 2.10,б трикутники NMC і NKT . Попередньо відомо параметри TM і $\angle OCO'$. Знайдемо відрізок MC . З трикутника OTM $OT = R^*$ і $\angle M = 90^\circ$,

отже
$$OM = \sqrt{R^{*2} - MT^2}, \quad (2.29)$$

$$MC = r' - OM, \quad (2.30)$$

$$MN = MC \cdot \tan 30^\circ, \quad (2.31)$$

$$NT = MT - MN, \quad (2.32)$$

$$KT = NT \cdot \cos 30^0. \quad (2.33)$$

Позначивши KT через X і підставляючи формули (2.28), (2.29), (2.30), (2.31) і (2.32) у формулу (2.33) отримаємо:

$$X = (MT - (2r \cos \gamma - \sqrt{R^{*2} - MT^2}) \operatorname{tg} 30^0) \cos 30^0. \quad (2.34)$$

За цією формулою шукаємо відрізки $K_i T_i$. Ще потрібно знайти віддалі від центра O' до точки перетину $O'V'$ з перпендикуляром на якому будем відкладати $K_i T_i$. Ця відстань (рис. 2.10, б) буде рівна:

$$O'K = O'C - (NC + KN). \quad (2.35)$$

У цій формулі відомо:

$$NC = MC / \cos 30^0, \quad (2.36)$$

$$KN = KT \cdot \operatorname{tg} 30^0. \quad (2.37)$$

Залишилось визначити $O'C$. Ця довжина визначається аналогічно до того, як визначали $r' = 2r \cos \gamma$, з тією лиш різницею, що у формулі замінюємо $\angle \gamma$ на $\angle \varphi$, який змінюється від 0^0 до 60^0 .

Остаточню, прийнявши $O'K = Y$, маємо:

$$Y = 2r \cos \varphi - (2r \cos \gamma - \sqrt{R^{*2} - MT^2}) / \cos 30^0 - X \operatorname{tg} 30^0. \quad (2.38)$$

Формули (2.34), (2.38) після спрощень, враховуючи, що $\varphi = \gamma + 30^0$ і $r = k$, наберуть вигляду

$$X = \sqrt{3} \cdot MT / 2 + 0,5 \cdot \sqrt{R^{*2} - MT^2} - k \cos \gamma, \quad (2.39)$$

$$Y = - MT / 2 + \sqrt{3} / 2 \cdot \sqrt{R^{*2} - MT^2} + k \sin \gamma. \quad (2.40)$$

За формулами (2.39) і (2.40), задаючись, попередньо перевіривши чи виконується умова незаклинювання – формула (2.27), розмірами k , MT і R^* , змінюючи $\angle \gamma$ від -30^0 до 30^0 , будемо форму ділянки вітки направляючої. (додаток А). Крива, побудована комп'ютерною програмою Maple V повністю співпадає із кривою ділянки направляючої, яка побудована графічним способом (рис. 2.9). Це підтверджує правильність проведених розрахунків.

2.11 Висновки

1. Дано опис конструкції нової сівалки точного висіву.
2. На основі і теоретичних досліджень сівалки і висіваючого апарата було визначено:
 - 2.1. Потужність, яку витрачає трактор при роботі з сівалкою склала 8,3 кВт.
 - 2.2. Для кріплення зубів-сошників вибраний ланцюг ПРД-38,1-2950 за ГОСТом 13568-75 з такими параметрами: $t=38,1$ мм; $B_{\text{ен}} = 12,7$ мм; $d = 5,96$ мм; $d_1 = 11,91$ мм; $h = 18,2$ мм; $b = 31$ мм; $b_1 = 17$ мм.
 - 2.3. Відстань між зубами-сошниками на ланцюзі рівна 23 см.
 - 2.4. . Відстань від центрів шарнірів ланцюга до центру шарнірного кріплення зуба-сошника - 25 мм.
 - 2.5. Дільний діаметр ведучої і натяжної зірочок ланцюгової передачі 289 мм, міжосьова відстань в ланцюговій передачі - 68 см.
 - 2.6. Від моменту випадання насіння з висіваючого апарату до моменту початку виймання зуба-сошника з ґрунту, машина пройде 48 см, або проекція на горизонталь відстані від центру нижнього шківів висіваючого апарату до центру натяжки зірочки рівна 48 см.
 - 2.7. Об'єм одного бункера для насіння - 8 л, однієї заправки бункера насінням хватає на 16,01 км, або на 2 години роботи.
 - 2.8. Кутова швидкість ведучої зірочки ланцюгової передачі – $12,57\text{с}^{-1}$.
 - 2.9. Реальний радіус приводного колеса - 170 мм.
 - 2.10. Швидкість руху транспортера насіння – 0,27 м/с, число гнізд на зубчастому пасі – 37, параметри гнізда: 7x7x5 мм.
 - 2.11. Графічним і математичним способами визначено форму вітки направляючої, яка працює по принципу мальтійського механізму.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Для надійної роботи дисково-пасового висіваючого апарату необхідно забезпечити безперебійну поштучну подачу насіння з насінневої банки до зубів сошників. Це можливо, коли кожне гніздо паса, яке пройшло насінневу банку, заповнене насінням. Для перевірки роботоздатності запропонованої конструкції пасового висіваючого апарату необхідно експериментально перевірити заповнення гнізд паса.

Розглянувши конструкції та провівши аналіз різних типів висіваючих апаратів, а також результатів досліджень по заповненню гнізд висіваючих дисків насіннями, виникла необхідність звернути більшу увагу на процес викидання насіння в нижній частині висіваючого апарату.

Експериментальні дослідження процесу викидання насіння повинні встановити вплив таких факторів, як вплив швидкості переміщення насіння висівним апаратом (швидкості викидання насіння) та зазору між висіваючим апаратом і зубом-сошником (висоти падіння насіння) на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника.

Актуальність проведення експериментальних досліджень визначається тим, що в літературних джерелах відсутні дані по вивченню явища випадання насіння в певну обмежену зону.

Підсумовуючи вищесказане та в зв'язку з основними завданнями, викладеними в першому розділі, на базі теоретичного аналізу роботи висіваючого апарату розроблена програма та методика експериментальних досліджень висіваючого апарату.

Загальною програмою експериментальних досліджень передбачається:

- а) визначення швидкості викидання насіння;
- б) визначення зазору між висіваючим апаратом і зубом-сошником.

Для виконання вищевказаної програми експериментальних досліджень необхідно вирішити наступні питання:

- розробити методику проведення окремих етапів досліджень;
- вибрати необхідне стандартне обладнання;
- розробити конструкцію лабораторної установки;
- організувати проведення досліджень у відповідності із методикою планування експериментів та обробкою результатів досліджень.

Для проведення експериментальних досліджень необхідно було організувати спостереження за виконання технологічного процесу методом вимірювань. При цьому проведення повних досліджень було розділено на два етапи: пошукові і основні досліді.

Пошукові проводились по схемі:

- визначення факторів, що впливають на процес випадання насінин в обмежену зону;
- визначення впливу найважливіших факторів на виконання технологічного процесу;
- перевірку частини методики умов проведення дослідів;
- перевірку пристроїв стосовно умов проведення дослідів;
- визначення даних, необхідних для підрахунку кількості дослідів.

Пошукові досліді не дають змоги повністю розкрити закономірності виконання технологічного процесу, вони можуть виконуватись до розробки методики досліджень, у процесі їх розробки або після них.

Для вибору основних факторів на другому етапі досліджень було проведено досліді, які передбачали складання плану двофакторного експерименту.

Для проведення пошукових та основних дослідів необхідно було виготовити експериментальну установку.

3.2 Опис експериментальних установок та апаратури, що використовується при експериментальних дослідженнях

Висіваючий апарат розроблюваної сівалки складається із двох зубчастих шківів, на яких встановлений зубчастий пас із гніздами для насінин. Верхній шків

заходить в насінневу банку і обертається у підшипникових опорах розміщених знизу насінневої банки. Нижній шків приводний, встановлений в підшипникових опорах на рамі сівалки. Пас з гніздами рухаючись забирає поштучно з насінневої банки насінини, які потім в нижній частині висіваючого апарата під дією відцентрових сил та сили земного тяжіння випадають з гнізд в отвори зубів-сошників. Для попередження випадання насінин при транспортуванні їх пасом служить спеціальний щиток.

Для перевірки заповнення гнізд паса висіваючого апарата насінинами був виготовлений макет даного пасового висіваючого апарата (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 - Фото макета пасового висіваючого апарата

Для підрахунку забраних висіваючим апаратом з насінневої банки насінин був використаний чуттєвий елемент - мембрана, яка при падінні на неї насінин, збуджувала електричні імпульси, що потім надходили до лічильника імпульсів СУВ 7.

Ми поставили за мету дослідити процес випадання насінин з гнізд висівачого апарата. Тому в експериментальній установці використали тільки один шків з гніздами, який буде забирати, транспортувати і викидати насінини.

Досліди проводились в лабораторних умовах на експериментальній установці зображеній на рис. 3.2.

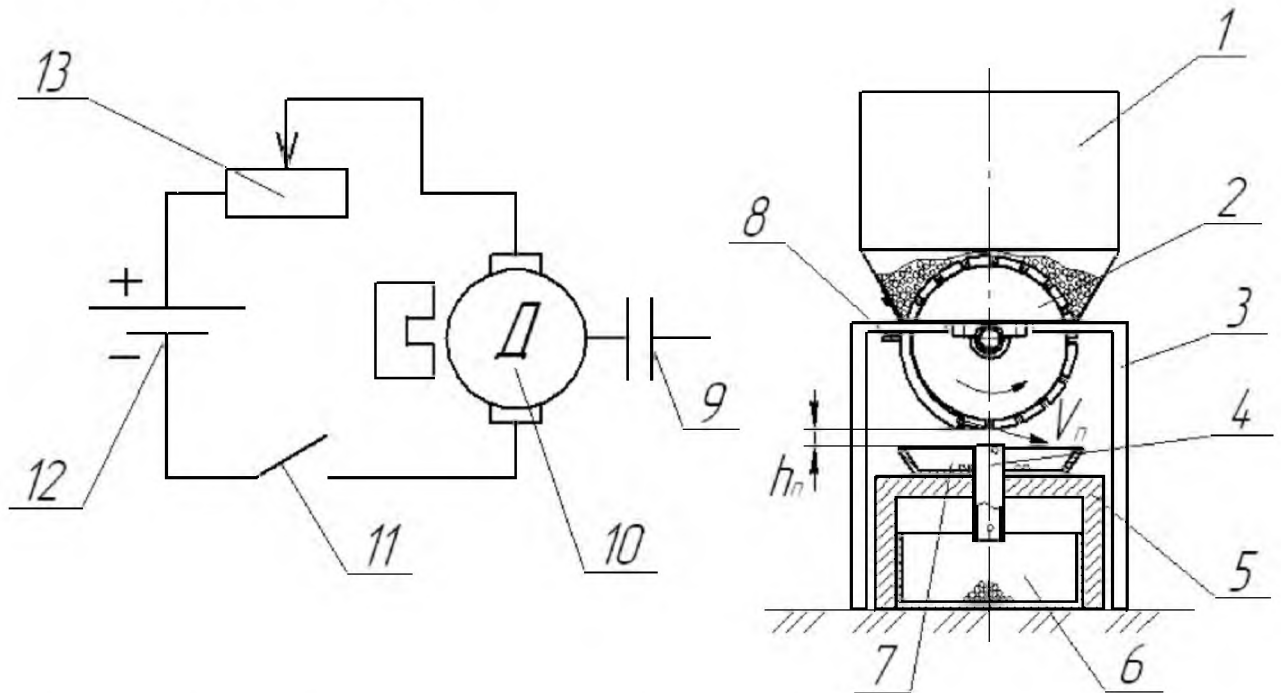


Рисунок 3.2 - Схема експериментальної установки: 1 – насіннева банка; 2 – диск з гніздами; 3 – підставка; 4 – трубка; 5 – столик; 6 – банка; 7 – тарілка; 8 – заслінка; 9 – муфта; 10 – електродвигун; 11 – вимикач; 12 – акумулятор; 13 - реостат

Насіннева банка виготовлялась за розмірами підібраними в 2-му розділі ємкістю 8 л і встановлювалась на зварній підставці 3. До дна насінневої банки кріпились підшипникові опори вала диска 2. Диск 2 виточувався з дерева і по периферії був накритий гумовою обичайкою, в якій з інтервалом у 27 мм були вирізані гнізда під насінини. Розміри цих гнізд визначені у 2-му розділі (рис. 2.9). Діаметр диска становив 140 мм. До насінневої банки 1 кріпився коритоподібний шток, в пазі якого переміщався заслінка 8. Під диском, вздовж вертикальної осі встановлювалась труба 4 з діаметром внутрішнього отвору 22 мм (у відповідності до отвору зуба-сошника). Дана труба 4 зовні мала нарізану різьбу і вкручувалась у

кришку стола 5. Під столом 5 розміщувалась банка 6, а на столі – тарілка 7, яка по центрі мала отвір, рівний зовнішньому діаметру трубки 4. Вал диска 2 через муфту 9 з'єднувався з валом електродвигуна 10 постійного струму МІ-11. Цей електродвигун підключався в електричне коло, яке містило акумулятор 12, реостат 13 і вимикач 11.

Різну швидкість V_n обертання диска 2 забезпечували зміною частоти обертання вала електродвигуна 10 внаслідок зміни сили струму в електричному колі за допомогою зміни електричного опору реостатом 13. Зазор h_n між диском 2 і трубкою 4 регулювався шляхом вкручування трубки 4 в кришку стола 5.

Для тарування положення повзуна реостата 13 у відповідності до частоти обертання електродвигуна 10 використовували ручним тахометром HANDY. Для виставлення необхідного зазору між диском 2 і трубкою 4 користувалися штангенциркулем з точністю вимірювання 0,25 мм. Для зважування насіння брали аналітичні ваги, а час проведення досліду фіксували секундоміром.

3.3 Методика статистичної обробки даних

При проведенні дослідів ми маємо справу з параметрами які потрібно визначати за допомогою знаходження середнього статистичного (або арифметичного) та середньоквадратичного відхилень з числа повторень n .

Середнє статистичне значення x_{cp} та середнє квадратичне відхилення S_c визначалися за наступними формулами:

$$x_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.1)$$

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}}, \quad (3.2)$$

Як відомо, неможливо провести абсолютно точно будь-яке вимірювання. Так при вимірюванні будь-яким приладом певної величини похибку приймають

рівною ціні поділки вимірювального приладу. Крім цього ми визначали абсолютні Δ та відносні δ похибки за наступними формулами:

$$\Delta = a - x, \quad (3.3)$$

$$\delta = \frac{\Delta}{a}, \quad (3.4)$$

де a – дійсне значення величини.

Також, для зручності, відносну похибку виражали у відсотках, тоді:

$$\delta = \frac{\Delta}{a} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

Бралось до уваги і те, що поняття похибки напряму пов'язане з поняттям точності: чим вища похибка, тим нижча точність і, навпаки, чим вища точність, тим нижча похибка.

Застосовували ми також коефіцієнт варіації для характеристики розсіювання (мінливості) статичного розподілу. Цей коефіцієнт визначали за формулою:

$$V = \frac{S_C}{x_{cp}} \cdot 100\%, \quad (3.6)$$

Всі розрахунки проводились із застосуванням комп'ютера що забезпечувало їх високу точність. Для визначення деяких значень величин також використовувались спеціалізовані комп'ютерні програми, результатами яких були розрахунки проведені з високою точністю.

3.4. Методика визначення повноти заповнення комірок висіваючого апарата насінинами

Мета дослідів – перевірити повноту заповнення гнізд паса висіваючого апарата насінинами.

Досліди проводились на макеті висіваючого апарата, фото якого подано в п. 3.2 (рис. 3.1), з використанням мембранного перетворювача і лічильника імпульсів CUB 7.

Для дослідів бралось дражоване каліброване насіння цукрового буряка діаметром 4,5-5,5 мм за ГОСТ 20797-87.

Досліди проходили наступним чином. Насіння цукрового буряка засипалось у насінневу банку. Мембранний перетворювач підключався до лічильника імпульсів і встановлювався під висіваючим апаратом в зоні випадання насіння, таким чином, щоб насінини падали на мембрану і відбиваючись спадали з неї. Обертаючи корбу нижнього шків висіваючого апарата проти руху годинникової стрілки, приводили в рух пас, який починав забирати з насінневої банки насінини і викидати їх в нижній частині. Зупиняли корбу у крайньому верхньому положенні.

В пункті 2.8 обгрунтовані параметри зубчасто-пасового транспортера насіння. Знаючи, що ведучий шків обертається із частотою $\omega = 3,89c^{-1}$,

визначимо кількість обертів за 1 с: $n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{3,89}{2 \cdot 3,14} = 0,62$ об/с. Ведений шків має

47 зубів, за 10 обертів шків пас переміститься по шківу на $47 \cdot 10 = 470$ зубів. Знаючи, що крок між зубами паса в 3 рази менший від кроку розміщення гнізд на пасі, робимо висновок, що за 10 обертів ведучого шків пас перемістить $470/3=156$ насінин.

Вмикаємо лічильник імпульсів і за шість секунд робимо десять повних оберти ведучого шків висіваючого апарата. Покази лічильника записуємо в зошит. Дослід проробляємо п'ять раз.

Отримані дані статистично обробляються за формулами 3.1, 3.2 і 3.6.

Після аналізу отриманих даних, за отриманим середнім арифметичним x_{cp} визначали відносну похибку заповнення комірок насінневого транспортера насінинами за формулою:

$$\delta = \frac{x - x_{cp}}{x} \cdot 100\% , \quad (3.7)$$

де x – число комірок, що пройшло через насінневу банку за дослід, $x=156$.

3.5 Методика дослідження впливу швидкості викидання насінин та висоти падіння насінин на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника

Мета дослідів – визначити вплив швидкості переміщення насіннин висівним апаратом (швидкості викидання насінин) та зазору між висіваючим апаратом і зубом-сошником (висоти падіння насінин) на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника та знайти оптимальні значення цих факторів.

Досліди проводились на лабораторній установці, яка описана в п. 3.2 (рис. 3.2). Для дослідів бралось дражоване каліброване насіння цукрового буряка діаметром 4,5-5,5 мм за ГОСТ 20797-87.

Досліди проходили наступним чином. Насіння цукрового буряка засипалось у насінневу банку. Повзунок реостата виставлявся згідно тарувальної криво в положення, що відповідає необхідній частоті обертання вала двигуна. Заслінка 8 (рис. 3.2) переводилась в крайнє нижнє положення, закриваючи зону випадання насіння. Провертаючи трубку 4 в різьбі стола 5 (рис. 3.2) та користуючись штангенциркулем, задавали необхідний зазор між диском і трубкою. Замикали електричне коло вимикачем 11 і, коли двигун 10 працював у всталеному режимі, переводили заслінку 8 у крайнє верхнє положення, вмикаючи при цьому секундомір. Дослід проводили 3 хв. Потім заслінку 8 переводили в нижнє крайнє положення і виключали вимикач 11. Столи 5 разом з банкою 6 і тарілці 7 висували з під підставки 3. насіння, яке знаходилось в банці 6 і в тарілці 7 зважували окремо на вазі з точністю до 0,1 г. Визначали повноту попадання насіння в трубку за формулою:

$$\Delta = \frac{m_m}{m_m + m_n} 100\%, \quad (3.8)$$

де m_m - маса насіння, яке попало в трубку, г;

m_n - маса насіння, яке не попало в трубку, г.

Досліди проводились у триразовій повторюваності, значення мас наважок насіння і визначеної повноти попадання насіння в зуб-сошник записували у зошит, після чого отримані дані оброблялись. При цьому, якщо результат

повторюваності досліду відрізнявся від інших результатів повторюваностей більш ніж на 10 %, тоді він вважався промахом і дослід перероблявся.

Оптимізацію технологічного процесу можна уявити як маршрут, по якому рухається дослідник з деякої вихідної точки в область екстремуму (максимуму або мінімуму). Для вирішення поставленої задачі використаємо математичний метод планування експерименту, такий, що потребує меншої кількості дослідів, а значить коштів і часу.

Оптимізацію багатофакторних систем найчастіше здійснюють у три етапи. На початку, розглядаючи вплив факторів, що вирішуються на двох рівнях, за методом Бокса-Уілсона отримують повне квадратне рівняння регресії і перевіряють на адекватність його лінійну частину. У випадку невиконання умови адекватності лінійної моделі необхідно провести додаткові досліді, ще на одному середньому рівні варіювання факторів і побудувавши за отриманим рівнянням регресії поверхню відгуку знайти оптимальні значення даних факторів. У такому разі вирішення задачі обмежується першим етапом. Якщо вимога адекватності задовольняється, то переходять до другого етапу

На даному етапі використовуючи метод “крутого сходження”; рухаючись в напрямку найбільшої зміни критерію оптимізації, проробляємо додаткові досліді і знаходимо уявну зону знаходження оптимуму.

На третьому етапі для уточнення розміщення оптимуму експерименти проводяться в майже стаціонарній області, яка описується рівнянням регресії другого і більш високого порядку. За побудованою поверхнею регресії та проекціями її двомірних січень знаходимо оптимальні значення факторів, що досліджуються.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Визначення повноти заповнення комірок висіваючого апарата насінинами

Досліди по визначенню повноти заповнення комірок висіваючого апарата насінинами проводилися у лабораторних умовах згідно з методикою, описаною в п.3.2.

В результаті обробки дослідних даних отримані такі значення величин: середнє арифметичне $x_{cp}=154,2$; середнє квадратичне відхилення $S_c=0,87$; коефіцієнт варіації $V=0,56$ %. Ці дані підтверджують, що досліди проведені методично вірно з достатньо великою точністю. За отриманим середнім арифметичним x_{cp} і числом комірок, що пройшло через насінневу банку за дослід, x визначали відносну похибку заповнення комірок насінневого транспортера насінинами за формулою (3.7): $\delta = \frac{156 - 154,2}{156} \cdot 100\% = 1,15\%$. Дана похибка менша за допустиме значення пропусків при висіюванні насіння цукрового буряка, що підтверджує роботу здатність даної конструкції висіваючого апарату.

4.2 Визначення впливу швидкості викидання насінин та висоти падіння насінин на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника

Як перший етап оптимізації на основі математичного планування експерименту, знайдемо лінійне рівняння регресії, що описує вплив швидкості переміщення насінин висівним апаратом (швидкості викидання насінин) та зазору між висіваючим апаратом і зубом-сошником (висоти падіння насінин) на повноту попадання насіння в зуб-сошник. Для цього використаємо метод Бокса-Уілсона.

Спочатку закодуємо фактори для переведення натуральних значень у безрозмірні величини з метою побудови плану-матриці експерименту. Зв'язок між кодovими і натуральними значеннями факторів встановлюється залежністю:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (4.1)$$

де x_i , X_i – відповідно кодове та натуральне значення i -го фактора;

X_{i0} – натуральне значення i -го фактора на нульовому рівні;

ΔX_i – інтервал варіювання i -го фактора.

Таблиця 4.1 - Результати кодування факторів

Фактор	Натуральне позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				Натуральні			Кодові		
				Верхній	Нижній	Нульовий	Верхній	Нижній	Нульовий
Швидкість викидання насінин, м/с	X_1	x_1	0,05	0,2	0,1	0,15	+1	-1	0
Висота падіння насінин, мм	X_2	x_2	6	13	1	7	+1	-1	0

Після закінчення кодування факторів складають план-матрицю експерименту для чотирьох дослідів ($n=2^2=4$). При цьому дослід №1 являє собою сукупність x_1 і x_2 на нижньому рівні, дослід №2 сукупність x_1 на нижньому рівні, а x_2 – на верхньому рівнях; дослід №4 – x_1 і x_2 на верхньому рівні. План-матриця поданий у табл. 4.1, він називається планом першого порядку і дозволяє проводити незалежну оцінку коефіцієнтів регресії.

Після цього проводиться рандомізація дослідів з метою встановлення послідовності їх проведення. Справа в тому, що у залежить не тільки від x_1 і x_2 , а й від інших факторів, які можуть бути невідомі досліднику. Проявлення невідомих

факторів (наприклад, вологість повітря) може по-різному відзначитися на результатах експерименту і буде залежати від того, чи будемо ми проводити досліди в послідовності 1, 2, 3, 4 (див табл. 4.2) або 1, 3, 2, 4 чи в будь якій іншій послідовності. Щоб виключити цей вплив, встановлюється випадковий порядок постановки дослідів у часі, для чого користуються таблицями випадкових величин.

Таблиця 4.2 - План-матриця ПФЕ 2^2

Номер дослідів (точка плану)	Значення кодованих факторів		Взаємодія кодованих факторів x_1x_2
	x_1	x_2	
1	-1	-1	+1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	+1

В результаті отримали таку послідовність проведення дослідів: 2, 3, 1, 4. Проводимо досліди в трьох повторюваностях, тоді послідовність 2, 3, 1, 4 будемо вважати такою, що належить до першої послідовності; нехай для другої і третьої повторюваностей вибраним способом ми отримали ще дві послідовності: 2, 1, 3, 4 та 3, 2, 4, 1.

Нехай у подальшому при проведенні дослідів (при реалізації плану-матриці експерименту) ми одержимо дані, подані в табл. 4.3, де u – номер дослідів, u_1 – номер дослідів в першій повторюваності (в першій реалізації плану), u_2 – номер дослідів в другій повторюваності (другій реалізації плану) тощо.

Значення y_{u_1} , y_{u_2} і y_{u_3} в таблиці 4.3 отримані в результаті дослідів, а значення \bar{y}_u - при розрахунках за формулою $\bar{y}_u = 1/3 \cdot (y_{u_1} + y_{u_2} + y_{u_3})$. Необхідно перевірити їх відтворюваність.

Таблиця 4.3 - Умови проведення і результати дослідів

Точка плану і номер дослідів, u	x_1	x_2	x_1x_2	Вихідний параметр y , %			Середнє арифметичне значення вихідного параметра \bar{y}_u
				Перша повторюваність y_{u_1}	Друга повторюваність y_{u_2}	Третя повторюваність y_{u_3}	
1	-1	-1	+1	50,4	51,4	49,1	50,3
2	+1	-1	-1	60,6	59,8	56,9	59,1
3	-1	+1	-1	72,5	71,9	69,2	71,2
4	+1	+1	+1	88,0	87,2	84,3	86,5

Перевірка відтворюваності дослідів при однаковому числі повторюваностей для кожного дослідів (для кожної точки плану) проводиться за критерієм Кохрена, табличне значення якого позначимо $G(0,05;n;f_u)$, де 0,05 означає 5 %-й рівень значущості (дорівнює $1-\alpha$, де α - довірна ймовірність; n - число незалежних оцінок дисперсії (число дослідів); $f_u = m_0 - 1$ - число ступенів вільності кожної оцінки, тут m_0 - число повторюваностей. Перевірка відтворюваності проводиться за умови:

$$G \leq G(0,05;n;f_u), \quad (4.2)$$

де

$$G = \frac{S_{U_{max}}^2}{\left(\sum_{U=1}^n S_U\right)}, \quad (4.3)$$

Тут S_u^2 - дисперсія, що характеризує розсіювання результатів в u -му досліді (тобто на u -му поєднанні рівнів факторів); $S_{u_{max}}^2$ - найбільша із дисперсій.

$$\bar{S}_u^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \sum_{i_k=1}^{m_0} (y_{ui_k} - \bar{y}_u)^2, \quad (4.4)$$

де i_k - номер повторюваності;

y_{ui_k} - вихідний параметр при i_k повторюваності.

Дисперсія відтворюваності (помилка дослідів) визначається за формулою:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n S_u^2, \quad (4.5)$$

У нашому випадку $m_0 = 3$, $n = 4$;

$$S_{u_1}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((50,4-50,3)^2 + (51,4-50,3)^2 + (49,1-50,3)^2) = 1,33 \%^2;$$

$$S_{u_2}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((60,6-59,1)^2 + (59,8-59,1)^2 + (56,9-59,1)^2) = 3,79 \%^2;$$

$$S_{u_3}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((72,5-71,2)^2 + (71,9-71,2)^2 + (69,2-71,2)^2) = 3,09 \%^2;$$

$$S_{u_4}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((88,0-86,5)^2 + (87,2-86,5)^2 + (84,3-86,5)^2) = 3,79\%{}^2.$$

$$S_y^2 = \frac{1}{4} \cdot (1,33+3,79+3,09+3,79) = 3 \%^2.$$

Підставивши значення $S_{u_1}^2$, $S_{u_2}^2$, $S_{u_3}^2$ і $S_{u_4}^2$ в (4.3) отримаємо:

$$G = 3,79/12 = 0,315.$$

Табличне значення критерію Кохрена при $n = 4$ і $f_u = m_0 - 1 = 2$, буде 0,770. Число 0,770 більше від 0,315, тому приходимо до висновку, що процес відтворюється.

Оскільки розглядуваний процес відтворюваний, то вираховують коефіцієнти рівняння регресії. Вище вказувалось, що повноту очищення будемо визначати у формі неповного квадратного рівняння, тому за даними табл. 4.3 необхідно визначити коефіцієнти b_0 , b_1 , b_2 , b_{12} за такими залежностями:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n \bar{y}_u; \\ b_i &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u; \\ b_{ij} &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u; \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

де n – число точок плану (число дослідів);

\bar{y}_u - середнє арифметичне значення вихідного параметра в u -му досліді;

x_{iu} - значення i -го кодованого фактора в рядку матриці в u -му досліді;

x_{ju} - значення j -го кодованого фактора в ряду матриці в u -му досліді.

Отже, в нашому випадку отримаємо:

$$b_0 = \frac{50,3 + 59,1 + 71,2 + 86,5}{4} = 66,775;$$

$$b_1 = \frac{(-1) \cdot 50,3 + (+1) \cdot 59,1 + (-1) \cdot 71,2 + (+1) \cdot 86,5}{4} = 6,025;$$

$$b_2 = \frac{(-1) \cdot 50,3 + (-1) \cdot 59,1 + (+1) \cdot 71,2 + (+1) \cdot 86,5}{4} = 12,075;$$

$$b_{12} = \frac{(+1) \cdot 50,3 + (-1) \cdot 59,1 + (-1) \cdot 71,2 + (+1) \cdot 86,5}{4} = 1,625.$$

Рівняння регресії буде мати вигляд:

$$y = 66,775 + 7,025 \cdot x_1 + 13,075 \cdot x_2 + 1,625 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (4.7)$$

Перевірка адекватності рівняння проводиться спочатку на лінійній частині $y = 66,775 + 7,025 \cdot x_1 + 13,075 \cdot x_2$ за допомогою критерію Фішера F . Адекватність матиме місце, коли виконується нерівність:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F(0,05; f_{ad}; f_y), \quad (4.8)$$

де S_{ad}^2 - дисперсія адекватності;

$F(0,05; f_{ad}; f_y)$ - критерій Фішера при 5 %-му рівні значущості;

f_{ad} - число ступенів вільності дисперсії адекватності,

$f_{ad} = n - k - 1 = 4 - 2 - 1 = 1$ (k - число факторів, у нашому випадку $k=2$);

f_y - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності.

$$f_y = n(m_0 - 1), \quad (4.9)$$

де m_0 - число повторюваностей;

$$f_y = 4(3 - 1) = 8.$$

Дисперсія S_{ad}^2 обчислюється за формулою

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n - k - 1} \sum_{u=1}^n (y - \bar{y}_u)^2, \quad (4.10)$$

де y - розрахункове значення відгуку в i -му досліді лінійної частини формули (4.7).

Для досліду №1 відгук $y^{(1)}=48,675$, і для решти дослідів $y^{(2)}=60,725$; $y^{(3)}=72,825$; $y^{(4)}=84,875$. Відповідне значення $(y - \bar{y}_u)$ для першого досліду дорівнює $(48,675-50,3)^2=2,64$; для другого $(60,725-59,1)^2=2,64$; для третього $(72,825-71,2)^2=2,64$; для четвертого $(84,875-86,5)^2=2,64$.

Таким чином, значення F критерію Фішера при дисперсії:

$$S_{ad}^2 = \frac{2,64 + 2,64 + 2,64 + 2,64}{4 - 2 - 1} = 10,56;$$

$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}$, де S_y^2 визначене вище і складає 2,5, буде:

$$F = 10,56/3=3,52 < F(0,05; 1; 8) = 5,318,$$

де 5,318 – число в таблиці.

Після перевірки адекватності рівняння проводиться оцінка значущості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Стьюдента. Коефіцієнт вважається значущим (таким, що суттєво впливає на відгук), якщо виконується нерівність.

$$b_a \geq \Delta b_a = t(0,05; f_y) \frac{S_y}{\sqrt{n}}, \quad (4.11)$$

де b_a – коефіцієнти b_0 , b_1 і b_{ij} у формулах (4.6);

Δb_a – довірча границя;

$t(0,05; f_y)$ – критерій Стьюдента при 5 %-му рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності f_y за (4.8).

Рівень значущості дорівнює $1-\alpha$, де α - довірча ймовірність.

З урахуванням цього критерій Стьюдента можна визначити за таблицею [28], де приводяться його значення залежно від α . Оскільки при 5 %-му рівні значущості $\alpha = 0,05$, а $f_y=8$, то при таких α і f в таблиці $t = 2,3$; тоді

$\Delta b_a = 2,3 \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{4}} = 1,992$. Оскільки $b_0=66,775$; $b_1=6,025$; $b_2=12,075$; $b_{12}=1,625$, то всі

одержані в рівнянні (4.7) коефіцієнти значущі, за винятком коефіцієнта перед взаємодією факторів $b_{12}=1,625$, який менший за $\Delta b_a=1,992$.

На основі викладеного приходимо до висновку, що рівняння (4.7) добре описує явище, яке визначається, при цьому останнім членом $1,625x_1x_2$ можна знехтувати.

Аналізуючи отримане рівняння регресії (4.7) видно, що значення y збільшується при збільшенні x_1 та збільшенні x_2 . При цьому вплив фактора x_2 більший ніж x_1 .

Перейдемо до рівняння регресії у натуральному вигляді:

$$x_1 = \frac{X_1 - X_{10}}{\Delta X_1}, \quad (4.12)$$

$$x_2 = \frac{X_2 - X_{20}}{\Delta X_2}, \quad (4.13)$$

При $X_{10}=0,15$ м/с, $\Delta X_1=0,05$ м/с, $X_{20}=7$ мм, $\Delta X_2=6$ мм,

$$x_1 = \frac{X_1 - 0,15}{0,05}; \quad x_2 = \frac{X_2 - 7}{6};$$

$$y = 66,775 + 6,025 \cdot \left(\frac{X_1 - 0,15}{0,05} \right) + 12,075 \cdot \left(\frac{X_2 - 7}{6} \right) = 34,612 + 120,5 \cdot X_1 + 2,013 \cdot X_2.$$

Дане рівняння використаємо для визначення напрямку та кроків руху за градієнтом, тобто методу “крутого сходження”. Методика цього методу наступна:

1. Розрахуємо складові градієнта:

$$b_1 \Delta X_1 = 120,5 \cdot 0,05 = 6,025;$$

$$b_2 \Delta X_2 = 2,013 \cdot 6 = 12,078.$$

2. В якості базового (опорного) приймаємо фактор X_1 , для якого добуток ($b_1 \Delta X_1$) вийшов меншим за модулем. З позиції доцільності призначимо крок його зміни (крок $\Delta X_1'$ приймаємо меншим за попередній крок ΔX_1 , найчастіше в 2 рази):

$$\Delta X_1' = 0,05 / 2 = 0,025.$$

3. Розраховуємо співвідношення по базовому фактору:

$$K_2 = \left| \frac{\Delta X_2}{\Delta X_1} \right| = \frac{6}{0,05} = 120;$$

4. Визначаємо крок для фактора x_2 :

$$\Delta X_2' = \Delta X_1' \cdot K_2 = 0,025 \cdot 120 = 3;$$

5. Умови проведення 5, 6, 7, 8, 9-го дослідів одержимо додаванням $\Delta X_1' = 0,025$ і $\Delta X_2' = 3$ до основних нульових рівнів факторів.

Для наглядності заповнимо таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 - Розрахунок крутого сходження

Параметри	Фактори		Функція відгуку, у, %
	X_1 , м/с	X_2 , мм	
Основний (нульовий) рівень	0,15	7	-
Інтервал варіювання ΔX_i	0,05	6	-
Коефіцієнт рівняння регресії b_i	120,5	2,013	-
Добуток $b_i \cdot \Delta X_i$	6,025	12,078	-
Крок для зміни фактора $\Delta X_i'$	0,025	3	-
Досліди: 4	0,175	10	84,8
5	0,200	13	87,2
6	0,225	16	96,3
7	0,250	19	99,0
8	0,275	22	99,95
9	0,300	25	98,7

Після проведення другої серії дослідів виявилось, що оптимум досягається у 8-му досліді. Значить, можна вважати, що оптимальним є значення факторів $X_1 = 275$ м/с, $X_2 = 22$ мм. Для перевірки такого припущення ставиться повний факторний експеримент, в якому отримані значення факторів приймаються в якості основного рівня.

Перейдемо тепер до заключного етапу. В області оптимуму для опису поверхні відгуку необхідно розв'язати рівняння регресії 2-го порядку. Для цього розглянемо вищевказані фактори на трьох рівнях з тими ж інтервалами варіювання що брали при методі "крутого сходження". Аналогічно до першого етапу закодуємо фактори.

Таблиця 4.5 - Результати кодування факторів

Фактор	Натуральне позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				натуральні			кодові		
				нижній	нульовий	верхній	нижній	нульовий	верхній
Швидкість викидання насінин, Гц	X_1	x_1	0,025	0,250	0,275	0,300	-1	0	+1
Висота падіння насінин, м/с	X_2	x_2	3	19	22	25	-1	0	+1

Для складання план-матриці візьмемо метод ортогонального композиційного планування, так як при ньому коефіцієнти регресії оцінюються незалежно, тому фактори з незначущими коефіцієнтами можна відкидати без перерахунку останніх значущих факторів. Проводячи за вибраним планом у трьохразовій повторюваності досліди, заповнюємо таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 - Умови проведення і результати дослідів

Точки	№ дос-ліду, u	X_1	X_2	Вихідний параметр, y			Середнє значення, \bar{y}_U
				y_1	y_2	y_3	
Ядро 2^2	1	-1	-1	99,01	98,95	99,03	99,00
	2	+1	-1	98,78	98,81	98,82	98,80
	3	-1	+1	98,76	98,74	98,77	98,76
	4	+1	+1	98,71	98,68	98,67	98,69
Зіркові точки	5	-1	0	99,54	99,57	99,58	99,56
	6	+1	0	98,94	98,91	98,90	98,92
	7	0	-1	99,15	99,19	99,13	99,16
	8	0	+1	99,26	99,25	99,29	99,27
Нульова точка	9	0	0	99,95	99,93	99,97	99,95

Значення y_1, y_2 і y_3 в таблиці 4.6 отримані в результаті дослідів, а значення \bar{y}_U - при розрахунках за формулою $\bar{y}_U = 1/3 \cdot (y_1 + y_2 + y_3)$. Необхідно перевірити їх відтворюваність. Цю перевірку здійснюємо аналогічно з описаним вище прикладом, що відповідає першому етапу.

У нашому випадку $m_0 = 3, n = 4$; тоді за формулою 4.4 обрахуємо:

$$S_{u_1}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((99,01-99,00)^2 + (98,95-99,00)^2 + (99,03-99,00)^2) = 0,0035;$$

$$S_{u_2}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((98,78-98,80)^2 + (98,81-98,80)^2 + (98,82-98,80)^2) = 0,0010;$$

$$S_{u_3}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((98,76-98,76)^2 + (98,74-98,76)^2 + (98,77-98,76)^2) = 0,0005;$$

$$S_{u_4}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((98,71-98,69)^2 + (96,68-98,69)^2 + (98,67-98,69)^2) = 0,0010;$$

$$S_{u_5}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((99,54-99,56)^2 + (99,57-99,56)^2 + (99,58-99,56)^2) = 0,0010;$$

$$S_{u_6}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((98,94-98,92)^2 + (98,91-98,92)^2 + (98,90-98,92)^2) = 0,0010;$$

$$S_{u_7}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((99,15-99,16)^2 + (99,19-99,16)^2 + (99,13-99,16)^2) = 0,0019;$$

$$S_{u_8}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((99,26-99,27)^2 + (99,25-99,27)^2 + (99,29-99,27)^2) = 0,0008;$$

$$S_{u_9}^2 = \frac{1}{3-1} \cdot ((99,95-99,95)^2 + (99,93-99,95)^2 + (99,97-99,95)^2) = 0,0008.$$

За формулою 4.5 знаходимо:

$$S_y^2 = \frac{1}{9} \cdot 0,0001 (35+10+5+10+10+10+19+8+8) = 0,0013.$$

Підставивши значення $S_{u_1}^2, S_{u_2}^2, S_{u_3}^2, S_{u_4}^2, S_{u_5}^2, S_{u_6}^2, S_{u_7}^2, S_{u_8}^2$ і $S_{u_9}^2$ в 4.3

отримаємо:

$$G = \frac{0,0035}{0,0001 \cdot (35 + 10 + 5 + 10 + 10 + 10 + 19 + 8 + 8)} = 0,304.$$

Табличне значення критерію Кохрена при $n = 9$ і $f_u = m_0 - 1 = 2$, буде 0,477. Число 0,477 більше від 0,304, тому приходимо до висновку, що процес відтворюється.

Для подальших обрахунків використаємо спеціальну комп'ютерну програму "PLAN". Результати обчислень приведені в додатку Б. Отримане рівняння регресії має вигляд:

$$y = 99,8126 - 0,1517 \cdot x_1 - 0,0911 \cdot x_2 - 0,5039 \cdot x_1^2 - 0,5322 \cdot x_2^2 + 0,0308 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (4.14)$$

Степінь вільності $f_y = 18$; дисперсія адекватності $S_{ad}^2 = 0,0016$; дисперсія відтворюваності $S_y^2 = 0,0013$; розрахунковий критерій Фішера:

$$F_{розр} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} = \frac{0,0016}{0,0013} = 1,23.$$

Користуючись додатком знаходимо табличні значення критерію Фішера $F(0,05;6;10) = 3,217$ та $F(0,05;6;20) = 2,599$. Використовуючи лінійну інтерполяцію знаходимо:

$$F(0,05;6;18) = 3,217 + (2,599 - 3,217) \frac{18 - 10}{20 - 10} = 2,723.$$

Що більше за $F_{розр}$, значить модель адекватна.

Для перевірки значущості коефіцієнтів рівняння регресії порівнюємо розрахункові коефіцієнти Стюдента для кожного окремого коефіцієнта рівняння регресії з табличним значенням. $t_{табл}(0,05;f_y) = 2,1$. Коефіцієнти значущості за умови, що $t_{розр} \geq t_{табл}$. Дану умову не задовольняє коефіцієнт b_{12} , тому його можна викинути з рівняння регресії, при цьому буде задовольнятися 95 % довірча ймовірність. Але так, як наступні операції будуть виконуватись на комп'ютері і врахування всіх коефіцієнтів регресії не призведе до незручностей при обчисленні ми будемо враховувати як значущі так і незначущий коефіцієнт рівняння регресії.

Використовуючи можливості комп'ютерного забезпечення MatCAD за отриманим рівнянням регресії (4.14) будемо поверхню відгуку та проєкції

двомірних січень поверхні відгуку на площину x_1x_2 (додаток В). Після чого користуючись програмою MatCAD визначаємо максимальне значення параметра Y та координати точок x_1 і x_2 , що відповідають йому. Так $Y = 99,925 \%$, $x_1 = -0,152$ і $x_2 = -0,043$. Переходячи від кодових значень x_1 і x_2 до натуральних X_1 і X_2 за формулою $X_i = \Delta X_i \cdot x_i + X_{i0}$ отримуємо шукані оптимальні значення факторів:

$$X_1 = 0,025 \cdot (-0,152) + 0,275 = 0,271 \approx 0,27 \text{ м/с.}$$

$$X_2 = 3 \cdot (-0,043) + 22 = 21,871 \approx 21,9 \text{ мм.}$$

Висновки: після проведення математичного планування експерименту та оптимізації параметрів ми отримали рівняння регресії, що має вигляд:

$$y = 99,8126 - 0,1517 \cdot x_1 - 0,0911 \cdot x_2 - 0,5039 \cdot x_1^2 - 0,5322 \cdot x_2^2 + 0,0308 \cdot x_1 \cdot x_2.$$

Переходячи від кодових значень x_1 і x_2 до натуральних X_1 і X_2 отримуємо шукані оптимальні значення факторів, а саме: швидкість викидання насінин: $X_1 = 0,27 \text{ м/с}$; висота падіння насінин: $X_2 = 21,9 \text{ мм}$.

4.3 Висновки

За результатами експериментальних досліджень отримано:

1. Відносна похибка заповнення комірок насінневого транспортера насінинами скрала 1,15%, що підтверджує роботу здатність даної конструкції висіваючого апарату.

2. Досліджено впливу швидкості викидання насінин та висоти падіння насінин на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника. Після проведення математичного планування експерименту та оптимізації параметрів ми отримали рівняння регресії (4.14). Переходячи від кодових значень до натуральних отримали шукані оптимальні значення факторів, а саме: швидкість викидання насінин - 0,27 м/с; висота падіння насінин - 21,9 мм.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для підвищення врожайності цекрового буряка необхідно більш раціонально використовувати площу поля для розміщення рослин цукрового буряка. Для цього була запропонована технологія стрічкового висіву насіння по схемі 45x15 см. Це можна досягнути встановивши на посівній секції сівалки ССТ-12В подільника потоку насіння і спарених сошників.

В даній роботі наведено дослідження і обґрунтування параметрів подільника потоку висіваючого апарата бурякової сівалки. За результатами проведених досліджень отримані наступні висновки:

1. Обґрунтовано конструкцію нової сівалки точного висіву.
2. На основі і теоретичних досліджень сівалки і висіваючого апарата було визначено:
 - 2.1. Потужність, яку витрачає трактор при роботі з сівалкою склала 8,3 кВт.
 - 2.2. Для кріплення зубів-сошників вибраний ланцюг ПРД-38,1-2950 за ГОСТом 13568-75 з такими параметрами: $t=38,1$ мм; $B_{\text{вн}} = 12,7$ мм; $d = 5,96$ мм; $d_1 = 11,91$ мм; $h = 18,2$ мм; $b = 31$ мм; $b_1 = 17$ мм.
 - 2.3. Відстань між зубами-сошниками на ланцюзі рівна 23 см.
 - 2.4. . Відстань від центрів шарнірів ланцюга до центру шарнірного кріплення зуба-сошника - 25 мм.
 - 2.5. Дільний діаметр ведучої і натяжної зірочок ланцюгової передачі 289 мм, міжосьова відстань в ланцюговій передачі - 68 см.
 - 2.6. Від моменту випадання насіння з висіваючого апарату до моменту початку виймання зуба-сошника з ґрунту, машина пройде 48 см, або проекція на горизонталь відстані від центру нижнього шківів висіваючого апарату до центру натяжки зірочки рівна 48 см.
 - 2.7. Об'єм одного бункера для насіння - 8 л, однієї заправки бункера насінням хватає на 16,01 км, або на 2 години роботи.
 - 2.8. Кутова швидкість ведучої зірочки ланцюгової передачі – $12,57\text{с}^{-1}$.
 - 2.9. Реальний радіус приводного колеса - 170 мм.
 - 2.10. Швидкість руху транспортера насіння – 0,27 м/с, число гнізд на зубчастому пасі – 37, параметри гнізда: 7x7x5 мм.

2.11. Графічним і математичним способами визначено форму вітки направляючої, яка працює по принципу мальтійського механізму.

3. За результатами експериментальних досліджень отримано:

3.1. Відносна похибка заповнення комірок насіннєвого транспортера насінинами скрала 1,15%, що підтверджує роботу здатність даної конструкції висіваючого апарату.

3.2. Досліджено впливу швидкості викидання насінин та висоти падіння насінин на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника. Після проведення математичного планування експерименту та оптимізації параметрів отримали рівняння регресії (4.14). Переходячи від кодових значень до натуральних отримали шукані оптимальні значення факторів, а саме: швидкість викидання насінин - 0,27 м/с; висота падіння насінин - 21,9 мм.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т. 2. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 559 с., ил.
2. Василенко В.В. О выборе параметров сева / В.В. Василенко, С.В. Василенко // Сахарная свекла. 2007. № 2. С. 31-32.
3. Вища математика: факти і формули, задачі і тести : навч. посіб. / О. В. Нікулін, Т. В. Наконечна. – Дніпропетровськ : Біла К. О., 2015. – 188 с.
4. Довідник з експлуатації машинно-тракторного парку./ В.Ю. Ільченко, П.І. Карасьов та інші. - К.: Урожай, 1987 - 368 с.
5. Довідник сільського інженера./ В.Д. Гречкосій, О.М. Погорілець К.: Урожай 1991.-400 с.
6. Деталі машин [Текст] : підручник : затверджено МОН України / А. В. Міняйло [та ін.]. - К. : Агроосвіта, 2013. - 448 с.
7. Кардашевский С.В. Высевающие устройства посевных машин.-М.: Машиностроение, 1973.-356 с.
8. Кваліфікаційна робота магістра [Текст] : методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого (магістерського) рівня освітньо-професійної програми «Агроінженерія» галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство спеціальності 208 Агроінженерія денної та заочної форм навчання / уклад. В.В. Сацюк, Р.В. Кірчук, Л.Ю. Забродоцька. – Луцьк : Луцький НТУ, 2020. – 60 с.
9. Кожевников С.Н., Погребняк А.П. Конструирование и расчет механизмов с зубчатыми ременными передачами. Справочное пособие. – К.: Наукова думка.1984- 112 с., ил.
10. Кузнецов Б.Ф. Создание однозерновой сеялки для посева семян овощных культур // Тракторы и сельхозмашины. 1997. № 3. С. 19-20.
11. Курьиндин А.В. Размеры ячеек высевающего диска // Сахарная свекла. 2003. № 4. С. 25.

12. Листопад Н.А. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации сельскохозяйственного производства. - М.: Агропромиздат, 1989. – 88с.
13. Лообб Д. Система растениеводства по технологии No-Till / Д. Лообб // Агробизнес–Украина. – 2007.–№1. – С. 26–28.
14. Машины для точного посева пропашных культур: конструирование и расчет/ В.С.Басин, В.В.Брей, Л.В.Погорелый и др.; Под. Ред. Л.В.Погорелого.- К.:Техніка, 1987.—151с.
15. Методологія наукових досліджень з основами інтелектуальної власності [Текст] : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Агроінженерія» галузі знань 20 Аграрні науки та продовольство спеціальності 208 Агроінженерія денної та заочної форм навчання / уклад. С.Ф. Юхимчук. – Луцьк : ЛНТУ, 2023. – 132 с.
16. Международные конференции по самовосстанавливающемуся земледелию на основе системного подхода No-Till [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nt-ca.org.ua>.
17. Обґрунтування параметрів робочих органів очистки сошника для прямої сівби: Монографія / І. О. Лісовий, А. І. Бойко, О. О. Банний, О. С. Пушка. - Кіровоград: ФОП Александрова М.В., 2016. - 160 с.
18. Овсянников А.А. Сеялки точного высева//Сахарная свекла. 1997.№ 2.С.10.
19. Пат. 9676А України, МКЛА01С7/18. Сівалка точного висіву / С.Ф. Юхимчук (Україна) - № 94022735. Заявл. 10.02.94. Опубл. 30.09.96. Бюл. № 3.
20. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник /Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с
21. Сисолін П.В. Конструкторські розробки: нових, вітчизняних, універсальних машин для звичайної, стерньової, мульчо-стерньової, екологічнобезпечної, енергозберігаючої, технології вирощування сільськогосподарських культур в Україні. – Кіровоград, 2009. – 128 с.

22. Сисолін П.В. Прямая сівба. Задачі і напрямки розвитку сошників для прямої сівби. / П.В. Сисолін, М.О. Свірень, І.О. Лісовий. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. – Кіровоград : КНТУ, 2007. – Вип. 37. – С. 94–98.
23. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин. Под ред. Е.С. Босого М.: Машиностроение, 1978.
24. Харпаньяк Д. Потенциальные преимущества методов прямого посева с нарушениям поверхностного слоя / Д. Харпаньяк // Агробизнес–Украина. – 2007.– №1. – С. 28–29.
25. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. посібник. – Київ: вид-во УСГА, 1992. – 240 с.
26. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин - К.: НМК ВО 1992. 320 с.
27. Цукрові буряки (вирощування, збирання, зберігання) / Шпаар Д., Драгер Д., Каленська С. та ін.; за ред. Д. Шпаара. – К. : ННЦ ІАЕ, 2005. – 340 с
28. Шмат К. І. Методи і принципи проектування сільськогосподарських машин і агрегатів : навч. посіб. / К. І. Шмат, П. В. Сисолін, О. Є. Самарін [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Херсон. держ. техн. унт. Херсон : Олдіплюс, 2004. 176 с
29. GASSEN, D.N.; GASSEN, E.R. Plantio direto Passo Fundo: Aldeia Sul, 2016. 207 с.
30. Farmer S. Eye on research seeder speeds: slurry systems // Power Farm. 2013. № 2 (англ.).

ДОДАТКИ

Додаток А

Визначення форми вітки направляючої

```

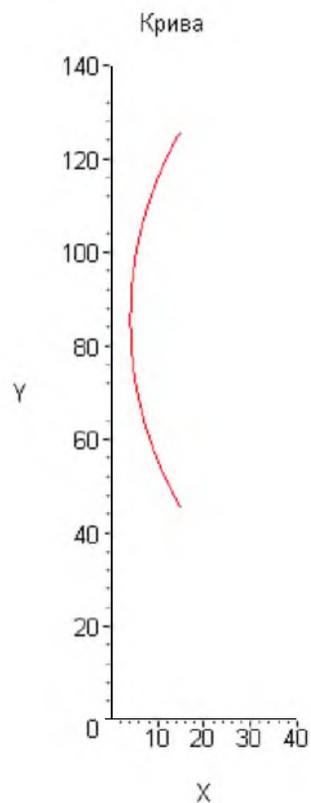
> #Програма на Maple V для визначення форми напрямної;
> #Вихідні дані для рішення задачі;
k:=80:MT:=30:R_з:=120:
#Рівняння для побудови графіків;
X:=(sqrt(3)*MT/2)+0.5*sqrt(R_з^2-MT^2)-k*cos(gamma1);
Y:=(-MT/2)+(sqrt(3)/2)*sqrt(R_з^2-MT^2)+k*sin(gamma1);
with(plots):
plot([X,Y,gamma1=-30*Pi/180..30*Pi/180],axes=NORMAL,
numpoints=1000,title='Крива',labels=['X','Y'],view=[0..
40,0..140]);

```

>

$$X := 15\sqrt{3} + 15.0\sqrt{15} - 80\cos(\gamma_1)$$

$$Y := -15 + 15\sqrt{3}\sqrt{15} + 80\sin(\gamma_1)$$



>

Додаток Б

***** MFK5 5 *****

ПЛАН 2-ФАКТОРНОГО ОПЫТА ДЛЯ

№	УРОВНИ ФАКТОРОВ		ЗНАЧЕНИЯ ОТКЛИКОВ		
1	-1,00	-1,00	99,01	98,95	99,03
2	1,00	-1,00	98,78	98,81	98,82
3	-1,00	1,00	98,76	98,74	98,77
4	1,00	1,00	98,71	98,68	98,67
5	-1,00	0,00	99,54	99,57	99,58
6	1,00	0,00	98,94	98,91	98,90
7	0,00	-1,00	99,15	99,19	99,13
8	0,00	1,00	99,26	99,25	99,29
9	0,00	0,00	99,95	99,93	99,97

Коэффициенты уравнения регрессии:

0-ый коэфф. =	99,8126	T-кр. =	4049,9093
1-ый коэфф. =	-0,1517	T-кр. =	6,1539
2-ый коэфф. =	-0,0911	T-кр. =	3,5481
1 1-ый коэфф. =	-0,5039	T-кр. =	20,4454
2 2-ый коэфф. =	-0,5322	T-кр. =	21,5950
1 2-ый коэфф. =	0,0308	T-кр. =	1,2511

Степень свободы для T-кр. = 18

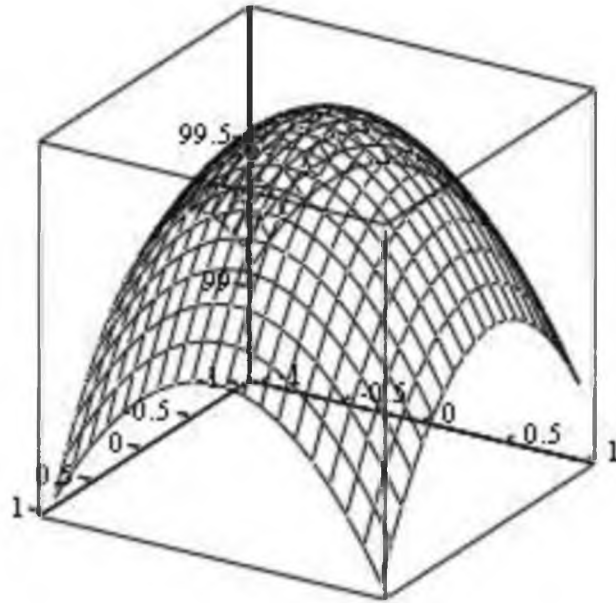
Дисперсия адекватности = 0,0016

Дисперсия воспроизводимости = 0,0013

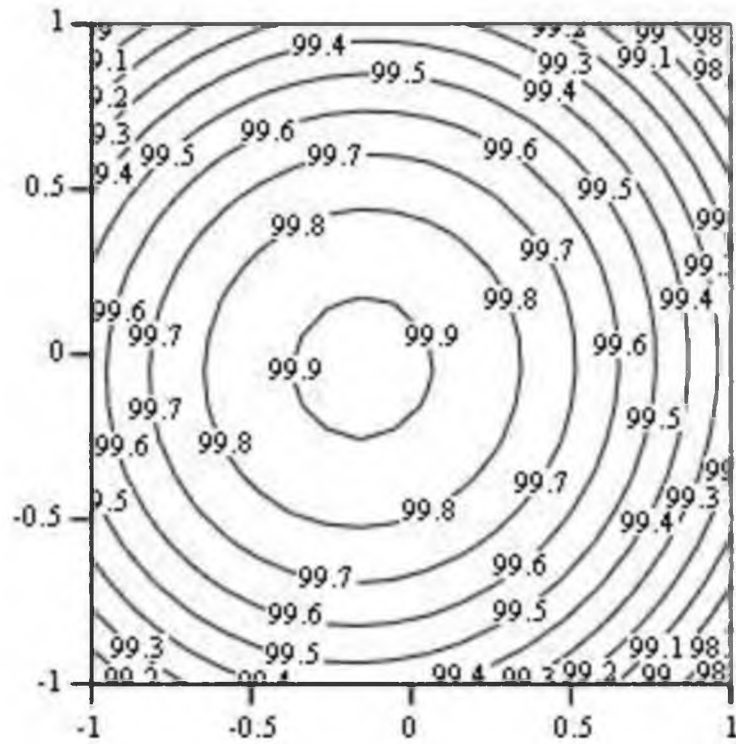
F-критерий при 3,18 степенях свободы = 1,2308

Додаток В

Поверхня відгуку



Проекція поверхні відгуку на площину $x_1 x_2$



Форм	Зона	Поз.	Позначення	Назва	К-ть	Примітка
				<u>Документація</u>		
			КАІ.СТВ.00.00.0000ПЗ	Пояснювальна записка	1	
A1			КАІ.СТВ.01.00.0000СК	Складальне креслення	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
				<u>Деталі</u>		
		1	КАІ.СТВ.01.00.0001	Пас	1	
		2	КАІ.СТВ.01.00.0002	Шків ведений	1	
		3	КАІ.СТВ.01.00.0003	Вісь	1	
		4	КАІ.СТВ.01.00.0004	Опора	2	
		5	КАІ.СТВ.01.00.0005	Втулка	4	
		7	КАІ.СТВ.01.00.0006	Втулка	1	
		8	КАІ.СТВ.01.00.0007	Шків-колесо	1	
		9	КАІ.СТВ.01.00.0007	Шестірня	1	
		10	КАІ.СТВ.01.00.0009	Шків	1	
		11	КАІ.СТВ.01.00.0010	Вал	1	
		12	КАІ.СТВ.01.00.0011	Корпус	2	
		13	КАІ.СТВ.01.00.0012	Втулка	1	
		15	КАІ.СТВ.01.00.0013	Диск	1	
		16	КАІ.СТВ.01.00.0014	Щиток	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		17		Гвинт М6-6gx15 ГОСТ 17473-84	2	
		18		Шайба 6.65Г.029 ГОСТ 6402-70	2	
				Шпонки за ГОСТ 23360-78:		
		6		5x5x20	1	
		14		5x5x45	1	

КАІ.СТВ.01.00.0000 СК				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
		Розробив	Вінчук	
		Перевір.	Юхимчук	
		Н. контр.	Юхимчук	
		Затверд.	Хомич	
Висіваючий апарат (складальне креслення)			Літера	Аркуш
			М	1
			ЛНТУ, гр. АІм-21	

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРЯМОЇ СІВБИ ЦУКРОВОГО БУРЯКА З УДОСКОНАЛЕННЯМ СІВАЛКИ ТОЧНОГО ВИСІВУ

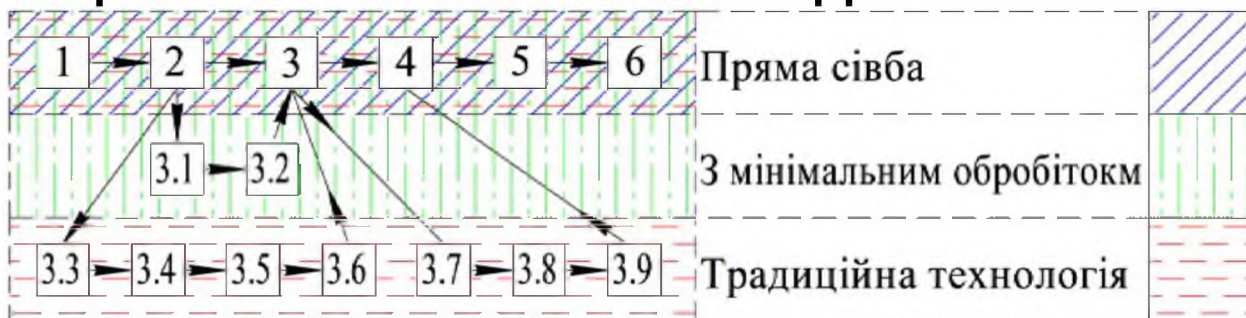
Мета роботи – зменшити матеріаломісткість машини, знизити енергозатрати та витрати насіннєвого матеріалу на основі обґрунтування параметрів і дослідження нової сівалки точного висіву.

Об'єкт дослідження – процес висіву насіння, робочі органи сівалки точного висіву, дражоване насіння цукрового буряка.

Предмет дослідження – залежність показників якості виконання процесу висіву насіння від параметрів і режимів роботи робочих органів сівалки точного висіву.

Задачі досліджень: Розробити конструкцію нової бурякової сівалки точного висіву. Необхідно визначити: потужність, яку витрачає трактор при роботі з сівалкою, параметри ланцюгової передачі з шарнірнозакріпленими зубами-сошниками, об'єм ємкості для насіння, обґрунтувати параметри пасового висіваючого апарата, визначити форму вітки направляючої, яка працює по принципу мальтійського механізму, для повороту шарнірно закріплених на ланцюзі зубів-сошників запропонувати використати магнітне коромисло; дослідити повноту заповнення комірок насіннєвого транспортера насінинами, щоб підтвердити роботоздатність даної конструкції висіваючого апарату; вплив швидкості викидання насінин та висоти падіння насінин на повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника.

ПОРІВНЯЛЬНА СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР



1. Внесення гербіцидів; 2. Внесення мінеральних добрив; 3. Сівба; 3.1. Мульчування, 3.2. Обробіток без перевертання скиби ґрунту; 3.3. Луцення стерні; 3.4. Оранка; 3.5. Боронування; 3.6. Культивація; 3.7. Прикочування посівів; 3.8. Досходове боронування; 3.9. Боронування сходів; 4. Обприскування проти шкідників; 5. Внесення гербіцидів; 6. Збирання

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЇ ПРЯМОЇ СІВБИ

Переваги		
Екологічні	Економічні	Агрономічні
<ul style="list-style-type: none"> - збереження структури ґрунту; - створення сприятливих умов для розвитку фауни (дошових черв'яків, мікроорганізмів та ін.); - забезпечення захисту ґрунту від ерозії завдяки наявності рослинних решток; - зменшення поверхневого стоку та поліпшення фільтрації води; - зниження рівня забруднення стічних вод. 	<ul style="list-style-type: none"> - економія палива становить 70-80%; - економія часу на виконання – 1-3, а не 10 технологічних операцій; - підвищення прохідності техніки; - зниження витрат на технічні засоби; - зменшення числа працівників. 	<ul style="list-style-type: none"> - зростання вмісту органічної речовини у ґрунті; - зменшення витрат на добрива; - забезпечення затримання вологи у ґрунті; - краще регулювання температурного режиму ґрунту.
Недоліки		
<ul style="list-style-type: none"> - ймовірність зниження врожайності в перехідний період; - необхідність використання тракторів більшої потужності; - потреба розробки нової техніки для прямого посіву; - зростанням проблем у боротьбі зі шкідниками і хворобами. 		

ПРОЕКТУВАННЯ ЗУБЧАТОЇ КОНІЧНОЇ ПРЯМОЗУБОЇ ЕВОЛЬВЕНТНОЇ З ВНУТРІШНІМ ЗАЧЕПЛЕННЯМ ПЕРЕДАЧІ

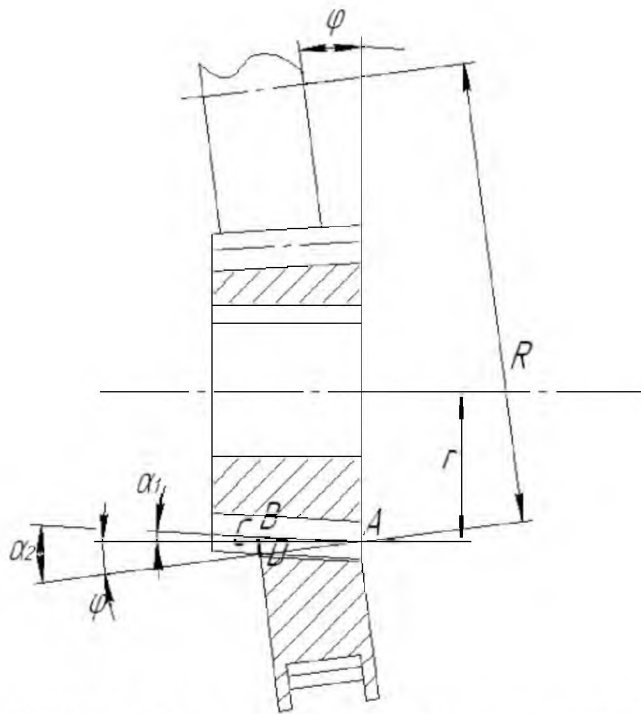


Рис. Зубчаста передача з внутрішнім зачепленням: r - радіус шестерні; R - радіус колеса; φ - кут нахилу колеса; α_1 - кут конуса шестерні; α_2 - кут конуса колеса; BA - лінія контакту шестерні з колесом

Виведемо формулу для знаходження кутів зубів колеса і шестерні. В точці A шестерня і колесо будуть мати однакову швидкість V , аналогічно і в точці B вони будуть мати швидкість V' .

$$\text{Шестерня буде мати кутову швидкість } \omega_{\text{ш}}: \omega_{\text{ш}} = \frac{V}{r} = \frac{V'}{r - BC}.$$

В формулах $V = \frac{V'r}{r - BA \sin \alpha_1}$ і $V = \frac{V'R}{R - BA \sin \alpha_2}$ однакові ліві частини, тому можна прирівняти їх праві частини. Враховуючи те, що

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \varphi \text{ отримаємо } \alpha_1 = \arctg \left(\frac{\frac{1}{R} \sin \varphi}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \cos \varphi} \right).$$

Для $r=17$ мм; $R=55$ мм і $\varphi=7^\circ$ одержимо: $\alpha_1 = 3^\circ$; $\alpha_2 = 10^\circ$.

Прийmemo модуль цієї передачі $m=2$. Тоді кількість зубів шестерні буде: $Z_{\text{ш}} = \frac{2r}{m} = 17$; а колеса: $Z_{\text{к}} = \frac{2R}{m} = 55$;

Шестерня розміщена на одному валу з веденим шківом, який обертається з кутовою швидкістю $\omega = 12.57 \text{ с}^{-1}$. Це значить, що $\omega_{\text{ш}} = \omega = 12.57 \text{ с}^{-1}$. Тоді колесо буде обертатись з кутовою швидкістю:

$$\omega_{\text{к}} = \frac{\omega_{\text{ш}} \cdot r}{R} = \frac{12.57 \cdot 17}{55} = 3.89 \text{ с}^{-1}.$$

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ УСТАНОВКИ



Рис. Фото макета пасового висіваючого апарата

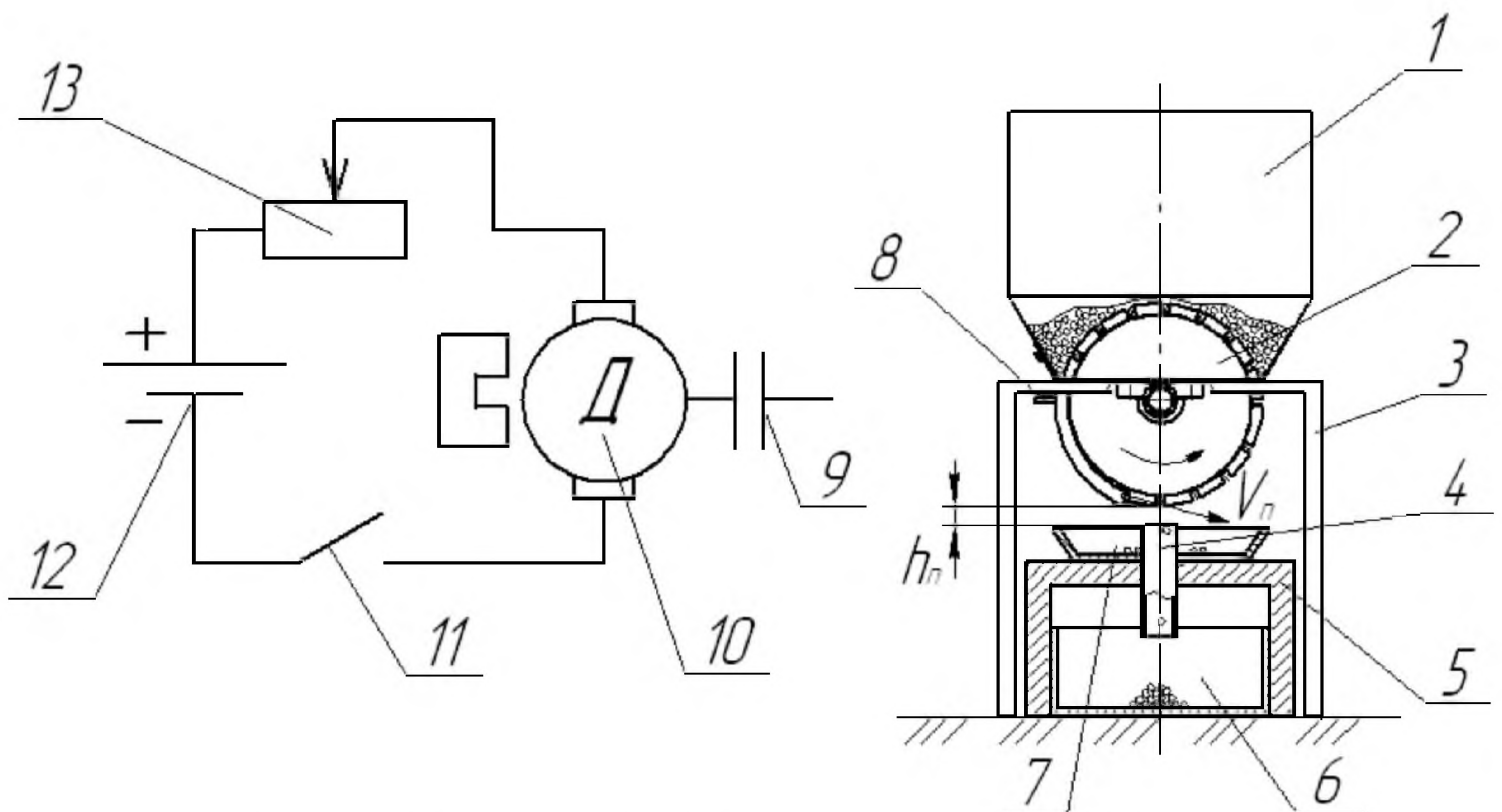
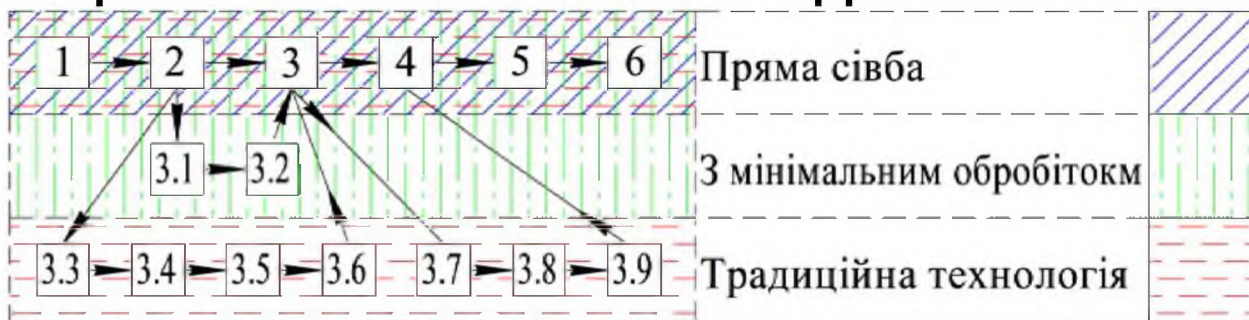


Рис. Схема експериментальної установки: 1 – насіннева банка; 2 – диск з гніздами; 3 – підставка; 4 – трубка; 5 – столик; 6 – банка; 7 – тарілка; 8 – заслінка; 9 – муфта; 10 – електродвигун; 11 – вимикач; 12 – акумулятор; 13 - реостат

ПОРІВНЯЛЬНА СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР



1. Внесення гербіцидів; 2. Внесення мінеральних добрив; 3. Сівба; 3.1. Мульчування, 3.2. Обробіток без перевертання скиби ґрунту; 3.3. Луцнення стерні; 3.4. Оранка; 3.5. Боронування; 3.6. Культивуація; 3.7. Прикочування посівів; 3.8. Досходове боронування; 3.9. Боронування сходів; 4. Обприскування проти шкідників; 5. Внесення гербіцидів; 6. Збирання

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЇ ПРЯМОЇ СІВБИ

Переваги		
Екологічні	Економічні	Агрономічні
<ul style="list-style-type: none"> - збереження структури ґрунту; - створення сприятливих умов для розвитку фауни (дошових черв'яків, мікроорганізмів та ін.); - забезпечення захисту ґрунту від ерозії завдяки наявності рослинних решток; - зменшення поверхневого стоку та поліпшення фільтрації води; - зниження рівня забруднення стічних вод. 	<ul style="list-style-type: none"> - економія палива становить 70-80%; - економія часу на виконання – 1-3, а не 10 технологічних операцій; - підвищення прохідності техніки; - зниження витрат на технічні засоби; - зменшення числа працівників. 	<ul style="list-style-type: none"> - зростання вмісту органічної речовини у ґрунті; - зменшення витрат на добрива; - забезпечення затримання вологи у ґрунті; - краще регулювання температурного режиму ґрунту.
Недоліки		
<ul style="list-style-type: none"> - ймовірність зниження врожайності в перехідний період; - необхідність використання тракторів більшої потужності; - потреба розробки нової техніки для прямого посіву; - зростанням проблем у боротьбі зі шкідниками і хворобами. 		

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ВИКИДАННЯ ТА ВИСОТИ ПАДІННЯ НАСІНИН НА ПОВНОТУ ПОПАДАННЯ НАСІННЯ В ТРУБКУ ЗУБА-СОШНИКА

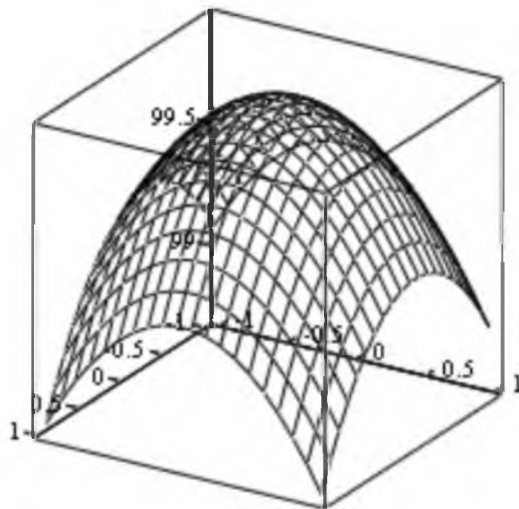
Визначали повноту попадання насіння в трубку зуба-сошника за формулою: $\Delta = \frac{m_m}{m_m + m_n} 100\%$,

де m_m - маса насіння, яке попало в трубку, г; m_n - маса насіння, яке не попало в трубку, г.

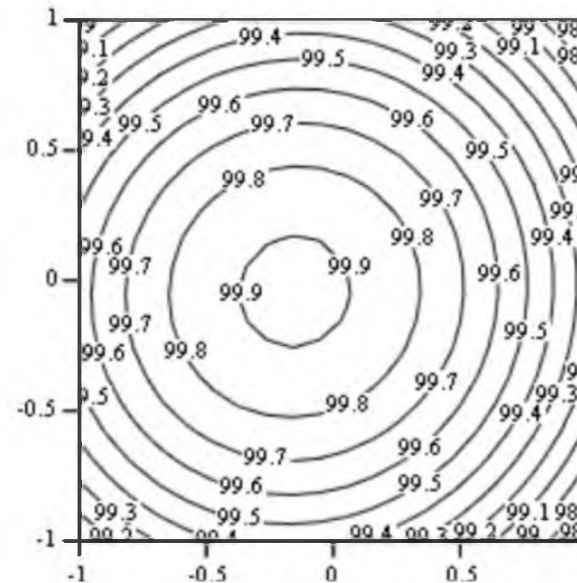
В результаті обробки дослідних даних отримали рівняння регресії для кодованих факторів, що має вигляд:

$$y = 99,8126 - 0,1517 \cdot x_1 - 0,0911 \cdot x_2 - 0,5039 \cdot x_1^2 - 0,5322 \cdot x_2^2 + 0,0308 \cdot x_1 \cdot x_2,$$

де x_1 – кодоване значення швидкості викидання насінин V_n (-1...+1, що відповідає 0,25...0,30 м/с), x_2 - кодоване значення висоти падіння насінин h_n (-1...+1, що відповідає 19...25 мм).



а)



б)

Рис. Поверхню відгуку (а) та проєкції двомірних січень поверхні відгуку на площину x_1x_2 (б)

Максимальне значення параметра Y та координати точок x_1 і x_2 , що відповідають йому: $Y = 99,925 \%$, $x_1 = -0,152$ і $x_2 = -0,043$. Переходячи від кодових значень x_1 і x_2 до натуральних V_n і h_n отримуємо шукані оптимальні значення факторів, а саме: швидкість викидання насінин $V_n = 0,27$ м/с, висота падіння насінин $h_n = 21,9$ мм.

