

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 роботи бурякової сівалки і вдосконалення подільника потоку висіваючого апарата»

Виконав: студент 2 курсу, групи ОСВм- 22
спеціальності 133 Галузе
машинобудування
за освітньо-професійною
програмою «Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»

Пачковський А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Юхимчук С.Ф.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Тарасюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дацюк Л.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет	<u>аграрних технологій та екології</u>
Кафедра	<u>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</u>
Галузь знань	<u>13 Механічна інженерія</u>
Освітній ступінь	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>133 Галузеве машинобудування</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса

доцент, к.т.н. _____ В.В. Сацюк
«10» січня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Пачковському Андрію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи	Дослідження роботи бурякової сівалки і вдосконалення подільника потоку висівуючого апарата
керівник роботи	Юхимчук Сергій Федорович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Луцького НТУ від «10» січня 2023 р. № 11/01-02

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основна частина.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки.

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

	к-сть листів
1. Вихідні дані	-1 лист
2. Конструктивні особливості вузлів аналогів	-1 лист
3. Теоретичні положення	-2 листи
4. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	-1 лист
5. Результати експериментальних досліджень	-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 магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10.	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11.	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Пачковський А.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Юхимчук С.Ф.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Тарасюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пачковський А. - Дослідження роботи бурякової сівалки і вдосконалення подільника потоку висіваючого апарата. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра за освітньо-професійною програмою «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» спеціальності 133 - Галузеве машинобудування. Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2023.

Основний зміст кваліфікаційної роботи магістра викладено на 71 сторінці друкованого тексту. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань із 30 найменувань та 3 додатків, а також має 51 рисунок і 12 таблиць. Повний обсяг роботи становить 74 сторінок.

У даній роботі магістра обґрунтовано конструкцію висівної секції бурякової сівалки, обладнаної подільником потоку насіння і спареними сошниками. Теоретично досліджено рух насіння в комірці диска і при виході з апарата. Запропоновано алгоритм розрахунку складових швидкостей виходу насіння з комірки диска і довжини висівного вікна. Обґрунтовано основні параметри висівного апарата, необхідні для його виготовлення: розмір і форма комірок, швидкість обертання диска, довжини висівного вікна і щок сошника. Визначено форму вітки подільника потоку насіння, що представляє собою комбінацію дільника з криволінійної твірною у виді брахистохрони, і похилу поверхню, та є основою подільника. Експериментально визначено допустиму швидкість обертання висівного апарату за показником заповнюваності лунок висівного диска. Досліджено розподіл насіння на липкій стрічці у лівому і правому рядках висівної секції. Проведено аналіз результатів експерименту за допомогою програми математичного моделювання.

Ключові слова: бурякова сівалка, подільник потоку, висіваючий апарат, насіння, висів.

ABSTRACT

Pachkovskii A. - Study of the work of a beet seeder and improvement of the flow divider of the sowing machine. Manuscript.

Qualification work of masters for the educational-professional program "Machinery and equipment for agricultural production" specialization 133 - Sectoral engineering. Lutsk National Technical University, Lutsk, 2023.

The main content of the master's thesis is laid out on 71 pages of printed text. The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references from 30 titles and 3 appendices, and also has 51 figures and 12 tables. The full volume of the work is 74 pages.

In this master's thesis, the design of the sowing section of a beet seeder, equipped with a seed flow divider and paired coulters, is substantiated. The movement of seeds in the disk cell and when leaving the apparatus was theoretically investigated. An algorithm for calculating the component rates of seed exit from the disk cell and the length of the sowing window is proposed. The basic parameters of the seeding device necessary for its production are substantiated: the size and shape of the cells, the speed of rotation of the disk, the length of the seeding window and the cheek of the coulter. The shape of the branch of the seed flow divider is determined, which is a combination of a divider with a curvilinear generator in the form of a brachistochrone, and an inclined surface, which is the basis of the divider. Key words: slit forming apparatus, spherical disk, landing machine, root crop. The allowable rotation speed of the seeding device was determined experimentally based on the indicator of the filling of the holes of the seeding disc. The distribution of seeds on the sticky tape in the left and right rows of the sowing section was studied. The results of the experiment were analyzed using a mathematical modeling program.

Key words: beet seeder, flow divider, seeding device, seeds, sowing.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	2
АНОТАЦІЯ.....	3
ABSTRACT.....	4
ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1 Сівба - найвідповідальніший етап технології вирощування цукрових буряків.....	10
1.2 Класифікація сівалок і типи висіваючих апаратів	15
1.3 Аналіз конструкцій сошників	17
1.4 Аналіз сівалок для посіву цукрових буряків.....	19
1.5 Відомості про технологічні процеси та властивості оброблюваних матеріалів.....	26
1.6 Аналіз науково-дослідних робіт з обґрунтування конструктивно- технологічних параметрів сівалок.....	27
1.7 Постановка питання, мети і завдання дослідження	29
2 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	30
2.1 Опис конструкції сівалки точного висіву	30
2.2 Дослідження руху насіння в комірці диска і при виході з апарата	31
2.3 Визначення параметрів сошника.....	34
2.4 Визначення форми вітки подільника потоку насіння.....	37
2.6 Висновки.....	44
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	45
3.1 Програма експериментальних досліджень	45

3.2	Методика визначення допустимої швидкості обертання висівного апарату за показником заповнюваності лунок висівного диска	46
3.3	Методика проведення дослідження розподілу насіння на липкій стрічці	47
4	РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ЛАБОРАТОРНИХ І КОМП'ЮТЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	56
4.1	Аналіз результатів експерименту з розподілу насіння в рядку	56
4.2	Аналіз результатів експерименту за допомогою програми математичного моделювання R.....	56
4.3	Висновки.....	65
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	68
	ДОДАТКИ	71

ВСТУП

У світовому землеробстві буряк цукровий вирощується на площі понад 9 млн. га. В Україні з площі приблизно 1,7 млн. га у 1990 р. зібрали 51 млн т буряків цукрових і виробили 5,6 млн т цукру, що становило біля 15% усього світового обсягу. Впродовж років незалежності посіви буряків цукрових катастрофічно зменшувались, внаслідок чого були втрачені зовнішні ринки збуту бурякового цукру, одним із світових лідерів виробництва якого багато років була Україна. У 2012 р. зібрали всього 17,55 млн т буряків і виробили 2,22 млн т цукру, в 2019 році вони зібрані на площі лише 220 тис. га.

Разом з тим, виробництво цукру в Україні і донині є одним з провідних стратегічних напрямів розвитку економіки країни і необхідною умовою незалежності від імпортерів та коливань цін на світовому ринку. Тому цукрова промисловість потребує власної сировини та підвищення врожайності буряків цукрових, що є надважливим завданням буряківників, особливо за умов такого значного скорочення площ посівів.

Буряки цукрові серед інших просапних культур є найвимогливішими як до ґрунтово-кліматичних умов, так і до робочих органів машин, виконуючих складні технологічні процеси їх вирощування і збирання. Продуктивність виробництва цукробурякової сировини визначається рівнем застосовуваних механізованих технологій і досконалістю технічних засобів на всіх етапах від передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння весною до отримання бурякової сировини на заводі восени.

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

Для підвищення врожайності цукрового 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.

Метою даної роботи є підвищення врожайності цукрового буряка на основі обґрунтування параметрів і дослідження подільника потоку висіваючого апарата бурякової сівалки.

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 бурякової сівалки, для визначення раціональних параметрів машини з врахуванням агротехнічних вимог до посівної техніки.

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

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

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень вищої математики, теоретичної механіки, теорії механізмів і машин. Експериментальні дослідження виконувались на основі загальноприйнятих методик із застосуванням вимірювальної апаратури, на основі системного підходу із використанням математичного планування багатofакторних експериментів, статистики та теорії ймовірності. Експериментальні дані опрацьовували за допомогою прикладних програмних пакетів Microsoft Excel, Компас, Statistica 6.

У даній роботі магістра обґрунтовано конструкцію висівної секції бурякової сівалки, обладнаної подільником потоку насіння і спареними сошниками. Теоретично досліджено рух насіння в комірці диска і при виході з апарата. Запропоновано алгоритм розрахунку складових швидкостей виходу насіння з комірки диска і довжини висівного вікна. Обґрунтовано основні параметри висівного апарата, необхідні для його виготовлення: розмір і форма комірок, швидкість обертання диска, довжини висівного вікна і шок сошника. Визначено форму вітки подільника потоку насіння, що представляє собою

комбінацію дільника з криволінійної твірною у виді брахистохрони, і похилу поверхню, та є основою подільника. Експериментально визначено допустиму швидкість обертання висівного апарату за показником заповнюваності лунок висівного диска. Досліджено розподіл насіння на липкій стрічці у лівому і правому рядках висівної секції. Проведено аналіз результатів експерименту за допомогою програми математичного моделювання.

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.

Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи доповідались на: III студентській науково-технічній конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні», факультету аграрних технологій та екології ЛНТУ та опубліковані у збірнику тез цієї конференції [23].

Логіка дослідження зумовила структуру роботи магістра: вступ, 4 розділи, загальні висновки, перелік джерел посилання із 30 найменувань, 3 додатків. Загальний обсяг 74 сторінок.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Сівба - найвідповідальніший етап технології вирощування цукрових буряків

При проведенні однієї з найвідповідальніших операцій вітчизняної індустріальної технології виробництва цукрових буряків - сівби, відповідно до агротехнічних вимог (табл. 1.1) насіння з високим рівнем одноростковості та лабораторної схожості має розміститись у заздалегідь підготовленому ґрунті певної структури, вологості і твердості, на заданій глибині посіву і з рівномірним (у межах заданого допуску) кроком вздовж рядка [2].

На висококультурних полях за високоякісної підготовки ґрунту і достатнього забезпечення вологою глибина загорання насіння становить 2-3 см. Відхилення від заданої глибини повинно бути не більше $\pm 0,5$ см. В умовах нестійкого і недостатнього зволоження її збільшують до 3-4 см.

Негативно позначається на польовій схожості насіння збільшення глибини його заробки, що трапляється у разі запізненого терміну початку сівби. В такому разі, щоб насіння потрапило у вологий шар, його заробляють на глибину 4 см і більше, попри те, що загорання на таку глибину призводить до зниження польової схожості, яка при цьому зменшується порівняно з оптимальною глибиною (2,5-3,5 см) на 6-11 %, а врожайність - на 2,5-3 т/га [2, 9, 20]. При збільшенні швидкості руху посівного агрегата вище рекомендованої глибина загорання насіння зменшується, а рівномірність інтервалів між отриманими сходами по довжині рядка знижується внаслідок недостатнього контакту конуса ущільнювального колеса з ґрунтом [22], коли за високої швидкості руху сівалки насіння загортається в розпушений ґрунт, “зависаючи” в ньому, і не має достатнього контакту з ущільненим дном клиноподібної борозни (рис. 1.1).

Таблиця 1.1 - Агротехнічні вимоги до здійснення технологічного процесу сівби

Показники	Вимоги та допуски
Строки сівби	Починати сівбу буряків, коли середньодобова температура ґрунту на глибині 8-10 см досягає 5-6°C, слідом за передпосівним обробітком ґрунту та закінчувати її на одному полі за 1-1,5 робочих дні*
Глибина загортання насіння	В залежності від ґрунтових та погодних умов зон бурякосіяння насіння загортати на глибину 2-4 см. Відхилення середньої глибини загортання насіння від заданої не повинно перевищувати 0,5 см
Щільність насінневого ложа, г/см ³	1,2-1,3
Щільність ґрунту над насінням, г/см ³	1,0-1,2
Рівномірність розподілу насіння вздовж рядка	Кількість насінин, висіяних з відхиленням 20 % від заданого інтервалу по довжині рядка, не повинно перевищувати 40 %
Кількість насінин, що висіяні на 1 м	Відхилення від заданої норми висіву насіння допускається не більше, ніж на 14 %
Ширина міжрядь	Ширина міжрядь всередині захвату сівалки повинна становити 45 см при відхиленні не більше, ніж на 1 см
Прямолінійність сівби	Відхилення осьової лінії на відрізку рядка завдовжки 50 м не повинно перевищувати 5 см
Наявність просівів	Не допускається
Вирівняність поверхні поля після сівби	Після проходження сівалки по осьовій лінії рядків повинен утворитись ґрунтовий гребінь висотою до 5 см, а зліва та справа від нього — борозенки завглибшки до 3 см
Ширина поворотних смуг	Ширина поворотних смуг на кінцях гонів повинна бути рівною трьом - чотирьом захватам сівалки

* Запізнення з сівбою на один день, порівняно з оптимальним строком, зменшує урожайність коренеплодів на 5-7 ц/га, на 5-6 днів - на 25-40 ц/га.

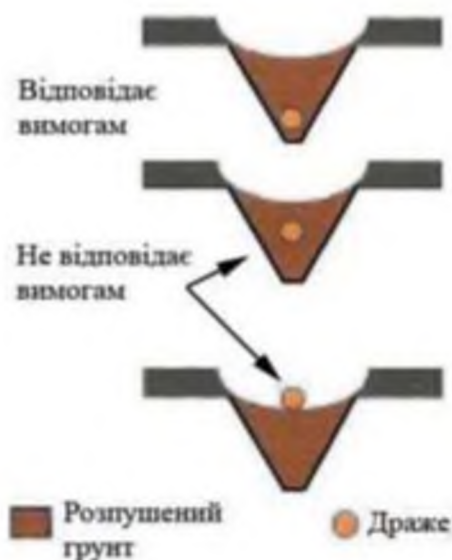


Рисунок 1.1 - Схеми розташування насіння у борозні залежно від робочої швидкості сівалки

Насіння не проростає також і при висіві в сухий шар ґрунту, тому що обов'язковою умовою високої польової схожості є щільний контакт насінин з вологим ґрунтом. Важливо висіяти насіння на ущільнене ложе з незруйнованою капілярною системою. За таких умов навіть у суху погоду забезпечується доступ ґрунтової вологи до насіння. Розпушений верхній шар ґрунту має бути не дуже товстим (2-4 см), щоб крізь нього легко надходив кисень з повітря і тепло. Польова схожість насіння при цьому може досягати 80-90 % і більше. Зазначене має позитивний вплив як на рівень польової схожості насіння, так і на одночасність (дружність) сходів, що загалом підвищує стартовий розвиток рослин і, як наслідок, урожайність культури [22, 25].

Дослідженнями науковців доведено, що одним із головних чинників підвищення урожайності є рівномірність висіву насіння по довжині рядка [8, 20, 25], адже при зниженні коефіцієнта варіації інтервалів між рослинами на 1 % підвищується урожайність буряків на 0,12-0,25 т/га і їх цукристість [15]. За даними досліджень В.М. Сінченка на модельних посівах встановлено, що при середньому інтервалі між рослинами 20-25 см і зниженні коефіцієнта варіації з 50 % до 25 % підвищується урожайність коренеплодів перед збиранням на 4,7-5,3 т/га [20].

Питання ширини міжрядь для цукрових буряків у різних бурякосійних країнах світу вирішують залежно від ґрунтово-кліматичних умов, наявності відповідної техніки і сформованих традицій.

В даний час у світовій практиці застосовуються посіви цукрових буряків з шириною міжрядь від 35 до 90 см і більше. У Німеччині, Голландії, Бельгії ширина міжрядь становить 40; 41; 45 і 51 см; у Франції – 38; 42 і 45 см; у Польщі, Румунії, Чехії – 45 см; в Англії – 50 і 53 см; в Італії – 40 і 50 см [12].

У США, завдяки застосуванню комплексу досконалих машин фірми «Аміті Технолоджі», найбільше поширення (90 % від загального обсягу площ) отримали міжряддя 56 см, хоча їх ширина при вирощуванні цукрових буряків на поливних землях коливається в межах 45–90 см.

Розсадний спосіб вирощування цукрових буряків з міжряддями 50–60 см застосовується в Японії.

В Україні, як відомо, відповідно до уніфікації комплексу машин для буряківництва у країнах Ради економічної взаємодопомоги, ширина міжрядь складає 45 см. Поряд з цим, теоретично і польовими агротехнічними дослідженнями вчених – фізіологів (Г. І. Гнатюк, К. А. Маковецький, В. О. Бюрисюк, В. В. Захарова та ін.) та недавніми дослідженнями А. Ф. Нікітіна, А. В. Куриндіна, П. Н. Ренгача та ін. було доведено [7], що раціональною конфігурацією площі живлення буряка є її наближення до квадрата 30×30 см (в ідеалі – коло), що відповідає біологічно обґрунтованій площі живлення рослини ($\approx 900 \text{ см}^2$) і тому міжряддя посівів цукрових буряків, що до 30-х років минулого століття вирощувались та збирались вручну, мали ширину 30 і 36 см, Такі міжряддя виконували роль як основних, так і технологічних. У середині ХХ-го століття в зв'язку з впровадженням механізації у виробництво цукрових буряків з очевидних причин з'явилися технологічні міжряддя шириною 45 см, які стали також і основними. Наслідком такого «розширення» міжрядь з 30 до 45 см явилось «загущення» рослин вздовж рядків з тим, щоби загалом отримати оптимальну густоту стояння їх (110 тис шт./га, або 5 шт. на 1м довжини рядка) на площі поля, що є базовим чинником отримання стабільно високої врожайності буряків

цукрових. Це, в свою чергу, призвело до відхилення від квадратної форми площі живлення рослини і видовження її перпендикулярно по відношенню до осі рядка і, як наслідок, до зниження урожайності культури.

Як у минулому, так і у теперішній час зворотній перехід до міжрядь шириною 30 см унеможлиблюється в зв'язку з не технологічністю проведення основних операцій по догляду за посівами і збирання урожаю та проблемою проходження у міжряддях рушіїв енергетичних засобів і робочих органів просапних та збиральних агрегатів. Але альтернативою є технологія з комбінованими міжряддями і розробка способу виробництва цукрових буряків за такої схеми сівби, що раціонально поєднує /комбінує/ основні (30 см) і технологічні (45 см) міжряддя з урахуванням оптимальної площі живлення кожної рослини та комплексу машин для висіву насіння, догляду за рослинами, збирання гички і коренеплодів при комбінованій ширині міжрядь. На підставі зазначених теоретико-експериментальних досліджень і приведених висновків, що раціональною формою площі живлення окремої рослини є наближення її до квадрата (30×30 см), і вивчення гіпотетичних можливостей та передумов здійснення технологічних процесів догляду за посівами і збирання буряків удосконаленими технічними засобів розроблена у співавторстві наступна методика досліджень з вибору раціональної схеми розміщення рослин на площі при комбінованій ширині міжрядь, як альтернативи міжряддям всуціль 30 см [7].

При аналізі використовуваних схем посіву було встановлено, що для посіву цукрового буряка оптимальна ширина міжрядь становить 22,5 і 30 см [7]. Але в даному випадку виникає складність з посівом існуючими сівалками і догляд за посівами засобами механізації, особливо труднощі виникають при збиранні коренеплодів. Здійснювалися польові експерименти з пошуку альтернативних технологій обробітку цукрового буряка за схемами: 22,5х22,5х45 см та 30х30х45 см. Нами запропоновано схему посіву 45х15 см.

Розташування посівних секцій з урахуванням схеми посіву та ширина колії трактора зображено на рис. 1.2.

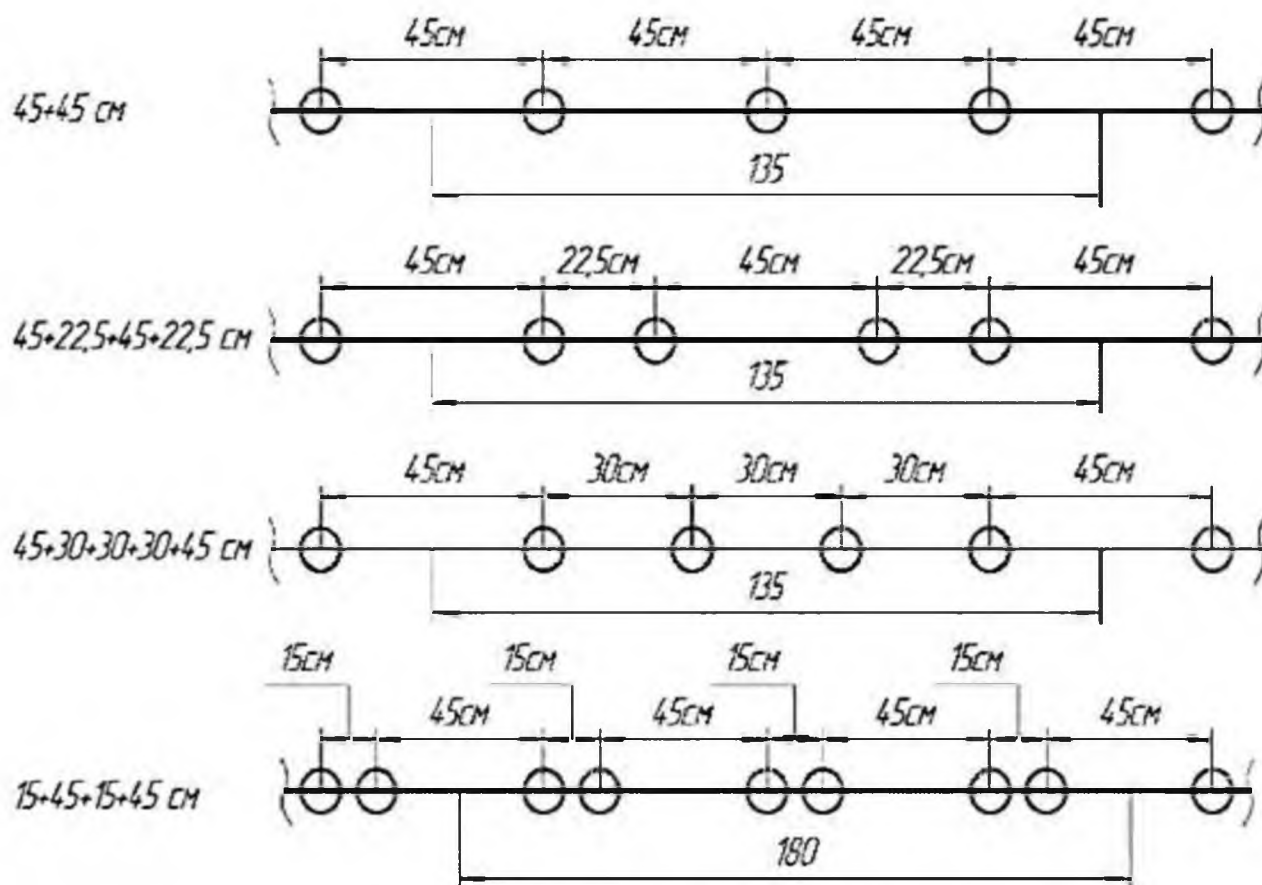


Рисунок 1.2 - Схеми посіву насіння цукрових буряків з урахуванням колії трактора

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 однозернового 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 принципів 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.

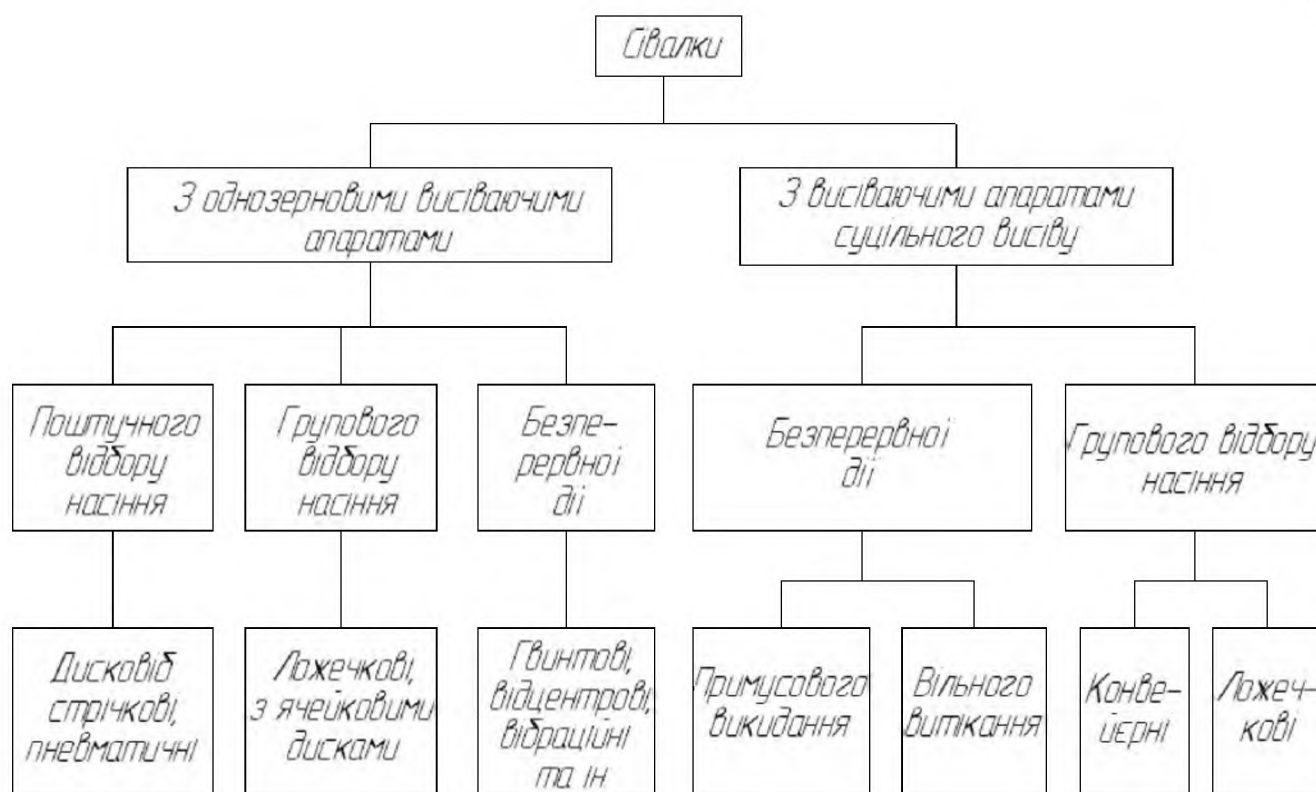


Рисунок 1.3 - Класифікація сівалок

Механічні висівних 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.1.4). згідно цієї класифікації розрізняють висівні апарати:

- 1) з поштучним відбором насіння: дискові, стрічкові, пневматичні (рис. 1.4, а-в);
- 2) з груповим відбором насіння: ложечкові, з великими комірками (рис. 1.4, г, е);
- 3) безперервної дії: гвинтові, відцентрові, катушкові (рис. 1.4, д, є, ж).

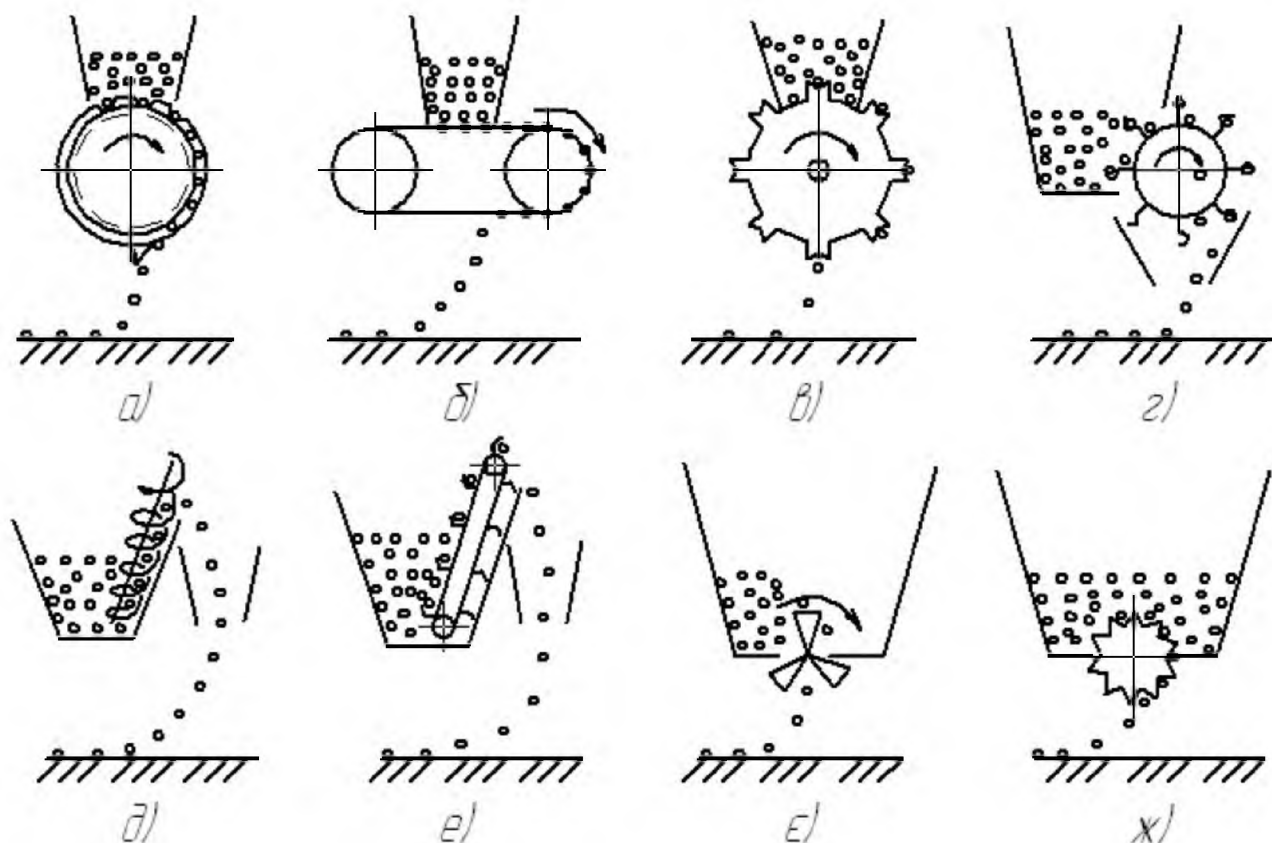


Рисунок 1.4 - Висіваючі апарати сівалок: *а* – з ячейковим диском; *б* – стрічковий; *в* – пневматичний; *г* – ложечковий; *д* – гвинтовий; *е* – конвеєрний; *е* – метеликовий; *ж* - катушковий

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.

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.

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	Двотискові; Трьох- дисківі	-	-	Комбіновано-лапові	Суцільним обробітком Ланцюговим обробітком Стрічковим обробітком
	U- подібною	Одно- дисківі	-	-		
		-	Трубчасті	-		
	Перевернутою T-подібною	-	-	Лапові	Комбіновано-лапові	
-		-	-			

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 Аналіз сівалок для посіву цукрових буряків

Проведений аналіз ринку сівалок цукрових буряків вітчизняних та зарубіжних виробників показує, що переважна більшість (до 70%) представлена універсальними сівалками точного висіву з діапазоном рядності від 4-6 до 36 (США). Основні показники: міжряддя – 45 см (Україна) та 50..56 см (Європа та США), відстань між насінням – 12-17 см, норма висіву – 7-8 шт/м [12].

За конструкцією дозуючого пристрою перевага надається пневмомеханічним висівним апаратам, призначеним для висіву дражованого насіння. Є також використання висівних апаратів дискового, стрічкового, ложечкоподібного, вальцевого та інших типів.

Використовувані сівалки оснащені опорними котками, що копіюють і прикочують, до і після висіву насіння. Прилади контролю рівня прикочування на сівалках, що випускаються, відсутні.

За точністю розподілу насіння пневматичні апарати приблизно рівноцінні і переважно дозують пристроїв сівалки ССТ-12В. Але в свою чергу пневматичні можуть висівати тільки дражоване насіння, а механічне більш універсальне і призначене для висіву як дражованого, так і інкрустованого насіння.

Створення та освоєння більш досконалих машин для виробництва буряків допоможе значно знизити енергетичні та натуральні витрати, та дозволить покращити оснащеність товаровиробників та збільшити ефективність виробництва.

За часів існування СРСР та в 90-і роки в Україні буряки сіяли переважно сівалками механічного типу ССТ-12А і модернізованими ССТ- 12Б та ССТ-12В (рис. 1.5) розробки Кіровоградського ПКІ і виробництва ВАТ «Червона зірка» (м. Кропивницький) [9, 20, 22].



Рисунок 1.5 - Сівалка ССТ-12В з механічними висівними апаратами

Сівалка ССТ-12В забезпечує внесення гранульованих добрив одночасно з сівбою, а у комплексі з підживлювачем ПОМ-630-1 - смугове внесення рідких комплексних добрив чи інсектицидів у зону рядків. Поряд з цим, застосування сівалок більшої рядності дозволяє скоротити строки сівби. Саме завдяки цим перевагам Кіровоградським ПКІ за участю науковців ІБКІЦБ розроблена універсальна 16-рядна сівалка ВЕГА 16 для сівби більшості технічних культур.

На протязі останніх 15-20 років найпоширеніша вітчизняна бурякова сівалка з механічними висівними апаратами ССТ-12В активно витісняється сівалками пневматичного типу дії як західноєвропейського («Мультикорн» фірми «Франц Кляйне» (рис. 1.6), «Оптіма» - Квернеленд (рис. 1.7), «Аеромат ПВ-12» Беккер, «Моноаір-80» - Акорд, (Німеччина); «Пневмосем» - Ноде Гужи, (Франція)), так і їх аналогами вітчизняного виробництва (СУ-12 - ПО «Орізон-прибор», (м. Сміла Черкаської області) (рис. 1.8), СПУ-5,6 - завод «Охтирсьільмаш», (м. Охтирка Сумської області) (рис. 1.9), СУПК-12, УПС-12 Веста (рис. 1.10) - ВАТ «Червона зірка», (м. Кропивницький)). Остання експортується у десятки зарубіжних країн у тому числі завдяки можливості внесення туків при сівбі [20, 22].



Рисунок 1.6 - Пневмосівалка «Мультикорн» в роботі



Рисунок 1.7 - Пневмосівалка «Оптіма»



Рисунок 1.8 - Пневматична сівалка СУ-12 «Орізон»



Рисунок 1.9 - Пневматична сівалка СПУ-5,6



Рисунок 1.10 - Сівалка УПС-12 Веста

Поміж тим, серед вітчизняних машин, що здатні вносити у рядки стартові дози мінеральних добрив одночасно з висівом насіння, крім названих пневмосівалок (універсальна пневматична сівалка УПС-12 Веста, пневмомеханічна СУПК-12) найбільш поширеною залишається сівалка з механічним висівним апаратом ССТ-12В виробництва ВАТ «Червона зірка».

Серед іноземних сівалок найбільше поширення в Україні дістали німецькі «Мультикорн» та «Оптима» з пневматичними висівними апаратами, що

застосовуються у господарствах без можливості внесення мінеральних добрив у рядки. Виокі технологічні можливості закладені у конструкціях вітчизняних пневматичних сівалок точного висіву (СУ-12 і СТВ-12 виробництва АТ завод «Автоштамп»), які висівають каліброване, капсульоване і дражоване насіння різних технічних просапних культур, але також не можуть вносити туки при сівбі (табл. 1.3) [12].

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики сівалок

Показники	Марки сівалок				
	Мульти-корн	СТВ-12	СУ-12	УПС-12	ССТ-12В
Агрегат. з тракторами класу, тс	1,4 —2,0				
Ширина захвата, м	5,4				
Робоча швидкість, км/год	5,0-7,0	5,0-6,0	5,0-7,0	5,0-6,0	до 5,4
Маса, кг	1240	1400	1255	1630	1433
Місткість бункерів, дм ³ : для насіння для добрив	300 Відсутні	Відсутні	Відсутні	204 280	192 280
Тип висівного апарата	Пневматичний із механічним приводом висівного диска				Механічний
Привод вентилятора пневмосистеми	Від ВВП трактора				Відсутній

Навесні 2019 року компанія Lemken представила принципово новий вид сівалки Azurit 9/8.75 K D. Принцип її роботи полягає в тому, що насінневий бункер об'єму 600 літрів дозує насіння за допомогою шнека, і потоком повітря насіння доставляється до відповідних висівних секцій. про подання порції насіння.



Рисунок 1.11 - Сеялка Azurit 9/8.75 K D от Lemken

Ще одним нововведенням у сівалці Lemken Azurit 9 є використання технології DeltaRow, суть якої полягає у висіві насіння в ряд, що складається з 2-х піврядів на відстані 12,5 см, між якими укладаються добрива. Синхронізація піврядів робить точний висів трикутною посадкою [8]. В результаті, за даними виробника, збільшується площа для кожної рослини до 70% і вони отримують більше води, поживних речовин та світла.

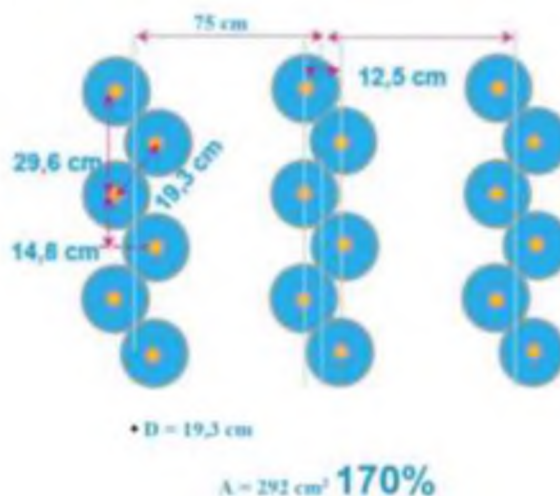


Рисунок 1.12 - Технологія DeltaRow

Минулого року італійська фірма MaterMass, яка славиться у всьому світі своїми найточнішими висівними апаратами MagicSem для просапних сівалок, запропонувала свою новітню розробку – сівалки TWIN із 2-стрічковим посівом.



Рисунок 1.13 - Сівалка MaterMass Twin Row 12x2 (дванадцять подвійних рядків)

Двохстрічковий посів, загальний вигляд міжряддя

Переваги сівалок TWIN:

- висівні секції налаштовуються на заводі та не потребують перевірок;
- відсутнє набивання ґрунту між колесами контролю глибини;
- мінімальна відстань між рядом та точкою висіву, що зменшує навантаження на навіску;
- стрічки в рядку синхронізовані, що дозволяє зберігати відстань між насінням незмінною;
- опція для створення технологічної колії.

Вигляд сої, висівної TWIN, і контроль (справа)

Посів TWIN: Сходи соняшнику

Висівна секція/ стандартна комплектація:

- серії MS 8000 з дводисковим сошником (діаметр 390 мм);
- колесами контролю глибини;
- з V-подібними привагуючими колесами;
- пружинним механізмом збільшення тиску на ґрунт (має 5 положень для різних ґрунтів);
- шарнірним паралелограмом (амплітуда ходу 26 см);
- регульованим грудковідводом.

Рисунок 1.14 - Схема 2-стрічкової сівби сівалкою TWIN (Італія, MaterMass)

Відповідно до досліджень [22] сівалка для посіву має задовольняти наступним вимогам:

- Універсальність (висів більшості культур у дражованому та інкрустованому вигляді).
- Глибина загортання насіння від 2-3 до 5-7 см.
- Глибина загортання добрив до 10-12 см.
- Рівномірний розподіл насіння у рядку (відхилення не більше 10%).
- Автоматизований контроль висіву з підрахунком насіння та площі сівби.
- Виключати висів двійників та просіви.
- Здійснювати коткування та якісно ущільнювати ґрунт у наднасінневому шарі.
- Забезпечувати стабільну роботу кожної секції за будь-якого рельєфу поля та вологості ґрунту.
- Конструктивно забезпечувати зміну міжряддя.
- Зручність у навішуванні та при транспортуванні.
- Припускати навішування та монтаж гербіцидного та підживлювального обладнання.

1.5 Відомості про технологічні процеси та властивості оброблюваних матеріалів

Сівалки 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).

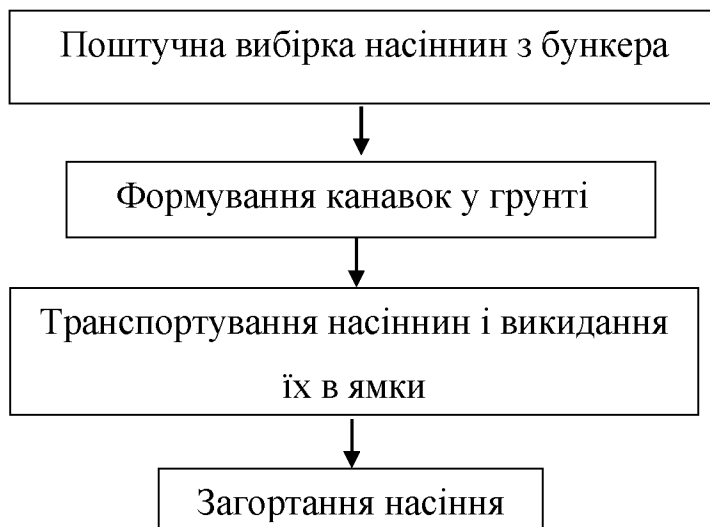


Рисунок 1.15 - Схема технологічного процесу розробленої сівалки

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
Об'ємна 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 Аналіз науково-дослідних робіт з обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів сівалок

Одним з основних напрямків наукових досліджень по обґрунтуванню конструктивно-технологічних параметрів сівалок є питання рівномірного розподілу насіння по площі живлення в процесі посіву.

Питаннями рівномірності розподілу насіння займалися, такі вчені як В.В. Василенко, С.А. Івженко, Д.В. Пологий, М.П. Набатян, О.С. Писарев, В.А. Артамонов [21] та ін. Дослідженнями технологічного процесу розподілу насіння і кінематикою руху насіння займалися такі дослідники, як Н.І. Любушко, М.К. Малєєв, Н. І. Гужин, Е.М. Михальця [21].

Одним з основних показників роботи сошників є тяговий опір, який залежить від конструктивно-технологічних параметрів робочих органів. Для зниження тягового опору необхідно оптимізувати параметри сошника, що в свою чергу вимагає вивчення процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом.

Розробкою технічних засобів для посіву займався чимало дослідників Г.М. Бузенков, С.А. Ма, Н.І. Любушка, А.П. Іофінов [21] і багато інших.

Дослідженнями процесу взаємодії ґрунтообробних машин з ґрунтом займалися В.П. Горячкин, А.П. Іофіна, Г.Н. Синьоокий, І.М. Панов, М.Х. Пигулевский [21]. Проектуванням робочих органів займалися М.З. Циммерман [21] та ін. Обґрунтуванню параметрів робочих органів сівалок прямого посіву присвячені роботи Косьяненко В.П., Пихтіна А.В., Писарева О.С., Мачкаріна А.В., Мерецького С.В., Небавского В.А. [21].

В розроблених ними сівалках використовуються різні види сошників, в тому числі і комбіновані, через особливості їх конструкцій вони підходять в основному для мінімальної технології з прямим посівом

Підвищенням точності розподілу насіння цукрових буряків займався В.С. Басін. Процес заповнення комірок висіваючого диска ним розділявся на три фази: підхід насіння до комірки, прохід його в комірку і укладка в комірку. Визначена необхідна довжина комірки, а також її глибина в залежності від розмірів насіння, вертикального і бокового тиску в бункері. Відносної швидкості руху насіння по диску. Виведені ймовірні умови западання насіння в комірку 0, 1, 2 і так далі в залежності від радіуса диска, швидкості обертання і кута обхвату диска насінням. Експериментально визначені дослідні значення коефіцієнтів μ і ϵ , які показують співвідношення вертикальних і бокових тисків [8].

1.7 Постановка питання, мети і завдання дослідження

Із наведеного вище матеріалу, можна зробити висновок про актуальність більш раціонального використання площі поля на розміщення рослин цукрового буряка на основі впровадження технології стрічкового висіву насіння по схемі 45x15 см. Це можна досягнути встановивши на посівній секції сівалки ССТ-12В подільника потоку насіння і спарених сошників.

Тому метою даної роботи є підвищення врожайності цукрового буряка на основі обґрунтування параметрів і дослідження подільника потоку висіваючого апарата бурякової сівалки.

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

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

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

У даній роботі необхідно обґрунтувати конструкцію висівної секції бурякової сівалки, обладнаної подільником потоку насіння і спареними сошниками. Теоретично дослідити рух насіння в комірці диска і при виході з апарата. Обґрунтувати основні параметри висівного апарата, необхідні для його виготовлення: розмір і форма комірок, швидкість обертання диска, довжини висівного вікна і щок сошника. Визначити форму вітки подільника потоку насіння. Експериментально визначити допустиму швидкість обертання висівного апарату за показником заповнюваності лунок висівного диска. Дослідити розподіл насіння на липкій стрічці у лівому і правому рядках висівної секції. Провести аналіз результатів експерименту за допомогою програми математичного моделювання.

2 ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Опис конструкції сівалки точного висіву

Встановлено, що схема посіву 45x15 см з шаховим розташуванням насіння в стрічці дає збільшення врожайності на 3,5-7,2 т/га, цукристості на 1-2% і біологічного збору цукру на 0,8-1,8 т/га, при 6 схожих насінні на погонному метрі рядка.

Для впровадження у виробництво запропонованої розробки необхідно провести її дослідження для підтвердження роботоздатності.

Для того, щоб збільшити вихід коренеплодів з одиниці площі з невеликими витратами на модернізацію наявних у господарстві сівалок, що особливо актуально для фермерських господарств, нами було розроблене креслення подільник потоку, який встановлюється після висівного апарату сівалки ССТ-12Б (рис.1).

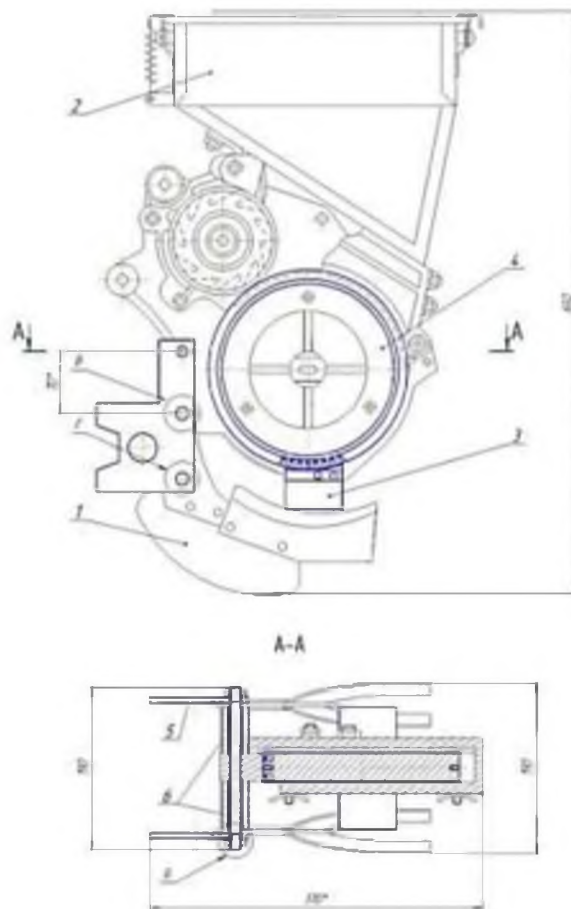


Рисунок 2. 1 - Загальний вигляд запропонованого пристрою

Кожна секція сівалки складається з бункера 2, дворядного висівного диска 4 з шаховим розташуванням осередків, дільника потоку 3, двох анкерних сошників 1, закріплених в технологічних пазах сівалки 6 за допомогою двох пластин 5. Конструкція даного пристрою забезпечує посів за схемою 45x15 см з шаховим на 1/2 відстані розташуванням насіння в рядку відносно один одного в двох суміжних рядках за рахунок використання дворядного висівного диска з шаховим розташуванням осередків, розділяючи потік насіння з кожного ряду на відповідні сошники.

Подільник потоку (рис. 2.2) складається з двох трубок прямокутного перерізу 1, що знаходяться під кутом 45° до вертикальної площини і з'єднаних між собою підсилюючими кріпильними пластинами 3. Між профілями встановлена перегородка в поперечно-вертикальній площині 2, що розділяє потік насіння з кожного ряду висівного диска у відповідні порожнини трубок, звідки насіння вже потрапляють в сошник. З метою попередження вильоту насіння за межі сошника, на трубках встановлені напрямні 7.

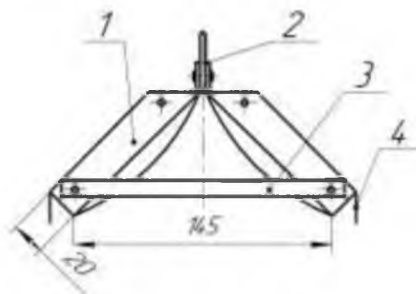


Рисунок 2.2 - Загальний вигляд подільника потоку насіння

Дно трубки 1, по якому переміщуються насінини виконане криволінійним. Через це насіння плавно змінюють напрямок свого руху і з мінімальними втратами кінетичної енергії надходять у підсошниковий простір і висівається на дно борозни.

2.2 Дослідження руху насіння в комірці диска і при виході з апарата

В якості безумовних для точного розміщення насінин вздовж рядка висунуті вимоги: а) висота падіння насіння на дно борозни повинна бути

мінімальною; б) горизонтальна швидкість насіння в момент виходу з комірки повинна бути рівна швидкості агрегату і мати зворотний напрям, тобто по відношенню до землі горизонтальна абсолютна швидкість насіння повинна бути рівна нулю.

Насіння після заpadання в комірку висівного диска транспортується останнім до висівного вікна, притискаючись при цьому відцентровою силою F_y до внутрішньої поверхні корпусу апарата.

Після виходу з комірки висівного диска насіння проходить у висівне вікно (рис. 2.3) корпусу апарата. Для визначення довжини L висівного вікна складаємо диференціальне рівняння руху насіння в комірці, спроектувавши діючі сили на вісь Y_1 (рис. 2.3) [27]

$$m\ddot{y}_1 = m \cdot (g + \omega^2 R). \quad (2.1)$$

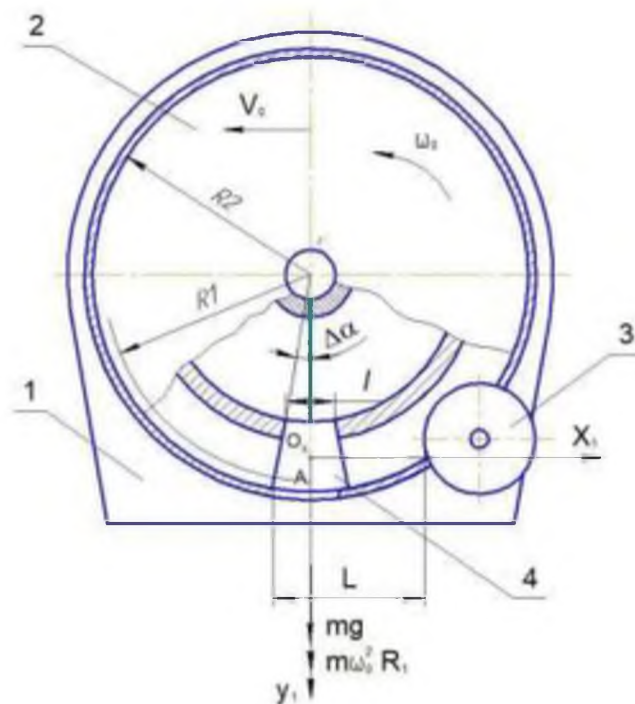


Рисунок 2.3 - Схема сил, що діють на насіння при русі і виході його з комірки висівного диска: 1 - корпус; 2 - висівний диск; 3 - відбивний ролик; 4 - комірка; V_0 - колова швидкість; ω_0 - кутова швидкість висівного диска; R_1 - радіус розташування комірок; R_2 - радіус висівного диска; l - довжина комірки; L - довжина висівного вікна; mg - сила тяжіння; $m\omega_0^2 R_1$ - відцентрова сила; X_1 - вісь абсцис; Y_1 - вісь ординат.

Скоротивши ліву і праву частину рівняння (2.2) на m , отримаємо

$$\ddot{y}_1 = g + \omega^2_0 R. \quad (2.2)$$

Далі інтегруємо рівняння (2.3) двічі по t

$$\dot{y}_1 = k_1 t_1 + C_3, \quad (2.3)$$

$$y_1 = 0,5 k_1 t_1^2 + C_3 t_1 + C_4, \quad (2.4)$$

$$k_1 = g + \omega^2_0 R_1. \quad (2.5)$$

Постійні C_3 і C_4 визначаємо за початковими умовами: при $t_1 = 0$, $y_1 = 0$ і $\dot{y}_1 = 0$. З урахуванням початкових умов величини $C_3 = 0$, $C_4 = 0$. Тоді рівняння (2.3) і (2.4) запишуться:

$$\dot{y}_1 = k_1, \quad (2.6)$$

$$y_1 = 0,5 k t^2, \quad (2.7)$$

Зважаючи на мізерність величини O_1 , A нехтуємо зміною відцентрової сили і вираховуємо її за виразом [27]

$$F_{ц} = m \omega^2_0 R_1, \quad (2.8)$$

де $R_1 = O'O_1 + 0,5O_1A = 102,18 + 0,5 \cdot 2,82 = 103,59$ мм.

(точка O_1 - початок координат - розміщена посередині глибини комірки).

Насіння вийде з комірки, якщо опуститься на половину її глибини, тобто

$$y_1 = O_1A = 0,5C, \quad (2.9)$$

де C - розмір насіння (товщина насіння), $C = 4,65$ мм.

Визначаємо швидкість y_1 і час t виходу насіння з комірки з рівнянь (2.6) і (2.7). Горизонтальна швидкість по модулю буде рівна

$$x_1 = \omega_0 R_2, \quad (2.10)$$

де $R_2 = O'A$ - радіус висівного диска.

Швидкість x_1 перпендикулярна до $O'A$; кут $\Delta\alpha = \omega_0 t_1$. Якщо $y_1 = C$, то отримуємо

$$t_1 = \sqrt{\frac{C}{0,5k_1}}. \quad (2.11)$$

Довжина висівного вікна рівна

$$L = V_0 t. \quad (2.12)$$

Підставивши значення у формулу (2.12), знаходимо

$$L = W_0 R_1 \sqrt{\frac{c}{0.5k_1}} \quad (2.13)$$

Алгоритм розрахунку складових швидкостей виходу насіння з комірки диска і довжини висівного вікна представлений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Алгоритм розрахунку швидкостей виходу насіння довжини L висівного вікна

Одиниці виміру	Параметри	Кутова швидкість диска, рад/с				
		18,42	23,44	29,30	34,33	39,67
ω^2	$1/c^2$	339,30	549,43	858,49	1178,56	1573,71
$\omega^2 R_1$	мм/с ²	56915,82	56915,82	88930,97	122085,80	163020,50
k_1	мм/с ²	44985,08	66725,82	98740,97	131895,80	172830,50
t	с	$1,12 \cdot 10^{-2}$	$0,92 \cdot 10^{-2}$	$0,76 \cdot 10^{-2}$	$0,65 \cdot 10^{-2}$	$0,57 \cdot 10^{-2}$
t_1	с	$1,59 \cdot 10^{-2}$	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$1,07 \cdot 10^{-2}$	$1,93 \cdot 10^{-2}$	$0,81 \cdot 10^{-2}$
y_1	мм/с	503,53	614,00	746,92	836,26	988,18
x_1	мм/с	1934,10	2461,20	3076,50	3604,65	4165,35
L	мм	30,75	32,03	32,91	33,36	33,68

2.3 Визначення параметрів сошника

Насіння виходить з комірки, маючи складові швидкості по осях x і y (рис. 2.4). Силу опору повітря не враховуємо. Система xOy зв'язана з рамою сівалки.

Довжину L_c сошника вираховуємо, склавши систему диференціальних рівнянь відносно осей абсцис і ординат

$$\begin{cases} m\ddot{y} = mg \\ m\ddot{x} = 0 \end{cases} \quad (2.14)$$

Після зменшення на m рівняння (2.14) приймає вид

$$\begin{cases} \ddot{y} = g \\ \ddot{x} = 0 \end{cases} \quad (2.15)$$

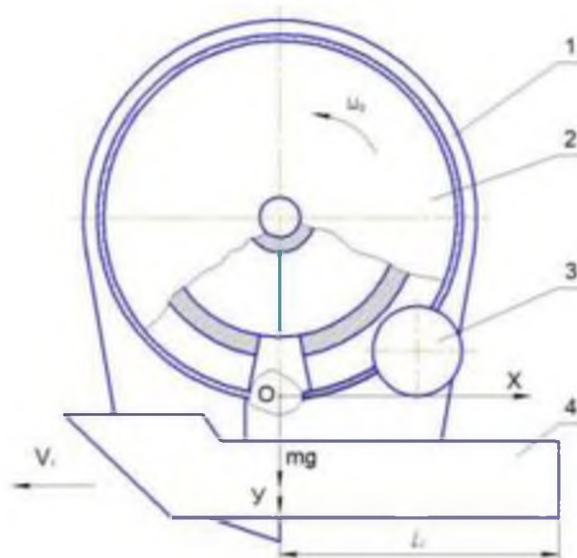


Рисунок 2.4 - Схема руху насіння у висівному вікні: 1 - корпус; 2 - висівний диск; 3 - відбивний ролик; 4 - сошник; V_a - швидкість руху посівного агрегату; ω_0 - кутова швидкість висівного диска; L - довжина висівного вікна; mg - сила тяжіння; X_1 - вісь абсцис; Y_1 - вісь ординат

Інтегруємо систему рівнянь (2.15) двічі по t :

$$\begin{cases} \dot{y} = gt + C_5, \\ \dot{x} = C_7 \end{cases} \quad (2.16)$$

$$\begin{cases} y = 0.5gt^2 + C_5t + C_6, \\ x = C_7t + C_8 \end{cases} \quad (2.17)$$

де C_5 , C_6 , C_7 і C_8 - постійні інтегрування. Задавшись початковими умовами: при $t = 0$, $x_0 = 0$.

$x_0 = x_1$, $y_0 = 0$ (x_1 - визначається за таблицею 2.1, рядок 7);

$y_0 = y_1$ (y_1 - визначається за таблицею 2.1, рядок 6); знаходимо значення постійних з формул (2.16) і (2.17) $C_5 = y_1$; $C_6 = 0$; $C_7 = x_1$; $C_8 = 0$.

Рівняння (2.16) і (2.17) з врахуванням постійних набувають вигляд:

$$\begin{cases} \dot{y} = gt + \dot{y}_1, \\ \dot{x} = \dot{x}_1 \end{cases} \quad (2.18)$$

$$\begin{cases} y = 0.5gt^2 + \dot{y}_1 t \\ x = \dot{x}_1 t \end{cases} \quad (2.19)$$

Із системи рівнянь (2.19) рахуємо рівняння

$$y = 0,5gt^2 + y_1 t, \quad (2.20)$$

$$\text{відносно } t \quad 0,5gt^2 + y_1t - y = 0. \quad (2.21)$$

Скорочуємо (2.21) на величину $0,5g$ і отримуємо

$$t^2 + \frac{y_1}{0,5g}t - \frac{y}{0,5g} = 0. \quad (2.22)$$

Проводимо заміну:

$$p = \frac{y_1}{0,5g}; \quad q = -\frac{y}{0,5g}. \quad (2.23)$$

Після проведеної заміни по (2.23) рівняння (2.22) записуємо

$$t^2 + pt + q = 0. \quad (2.24)$$

Рішаємо рівняння (2.24) і отримуємо

$$t = t_2 = -0,5p + \sqrt{0,25p^2 - q}. \quad (2.25)$$

Припускаючи $y = 80$ мм, визначаємо з рівняння (2.18) і (2.19) довжину L_c сошника

$$L_c \geq x = x_1t_2. \quad (2.26)$$

Алгоритм розрахунку довжини L_c сошника представлений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Алгоритм розрахунку довжини L_c сошника

Параметри	Одиниці виміру	Кутова швидкість диска ω_0 , рад/с				
		18,42	23,44	29,30	34,33	39,67
P	с	0,1026	0,1252	0,1523	0,1760	0,2015
Q	с ²	-0,0163	-0,0163	-0,0163	-0,0163	-0,0163
$-0,5p$	с	-0,0513	-0,0626	-0,0762	-0,0880	-0,1008
p^2	с ²	0,0105	0,0157	0,0232	0,0310	0,0406
$0,25p^2$	с ²	0,0026	0,0039	0,0058	0,0077	0,0102
$0,25p^2 - q$	с ²	0,0189	0,0202	0,0221	0,0240	0,0264
$\sqrt{0,25p^2 - q}$	с	0,1376	0,1422	0,1486	0,1551	0,1626
t_2	с	0,0863	0,0796	0,0724	0,0671	0,0618
L_c	м	0,1669	0,1959	0,2229	0,2417	0,2576

2.4 Визначення форми вітки подільника потоку насіння

Дослідженнями [9] доведена перевага подільників із криволінійними утворюючими, на робочій поверхні яких насіння плавно змінюють напрямок свого руху і з мінімальними втратами кінетичної енергії надходять у підсошниковий простір і висівається на дно борозни.

Для того, щоб швидкість руху насіння досягла максимальних значень у точці сходу з кривої, крива повинна задовольняти умовам найшвидшого переміщення часток за деякий проміжок часу. Такій кривій по визначенню є брахистохрона.

Теоретичним і експериментальним дослідженням руху насіння по криволінійній утворюючій присвячена робота Волоха М.В. [9]. Він розглядає брахистохрону як сукупність прямолінійної ділянки й кола постійного радіуса r , а рух насіння по криволінійній твірній розглядає як рух насіння по такому колу.

Отримана ним формула швидкості сходу (2.27) із криволінійної ділянки утворюючої V із припустимою точністю може бути прийнята для розрахунку траєкторії і швидкості руху насіння після сходу з криволінійної ділянки розподільника:

$$V = \sqrt{e^{-\pi \cdot f} \left(V_0 \cdot \cos^2 \gamma_0 - \frac{6 \cdot g \cdot r \cdot f}{1 + 4 \cdot f} \right) + 2 \cdot g \cdot r \cdot \frac{1 - 2 \cdot f^2}{1 + 4 \cdot f^2}}, \quad (2.27)$$

де f - коефіцієнт тертя зерна об сталь; V_0 - швидкість надходження насіння на криволінійну ділянку утворюючої, м/с; γ_0 - кут між вертикальною віссю і початковим напрямком швидкості V_0 ; g - прискорення вільного падіння, м/с²;

Однак, у дійсності радіус кривизни брахистохрони змінюється за визначеним законом. Відмінність дійсного радіуса брахистохрони від радіуса кола веде до того, що і дійсна швидкість руху з криволінійної твірної буде відрізнятися від розрахункової. Через те, що від швидкості руху насіння після сходу з криволінійної ділянки розподільника буде залежати запас кінетичної енергії, що обумовлює дальність розподілу насіння у підсошниковому просторі, то розгляд даного питання є важливим і необхідним етапом теоретичного дослідження.

Розглянемо рух одиничного насіння по брахистохроні, що є твірною розподільника (рис. 2.5).

Частка насінного матеріалу надходить на криволінійну поверхню з початковою швидкістю V_0 . При русі по криволінійній поверхні на насіння діють: вага, сила тертя, відцентрова сила і сила нормального тиску.

Проектуючи сили на нормаль і дотичну, запишемо систему диференціальних рівнянь:

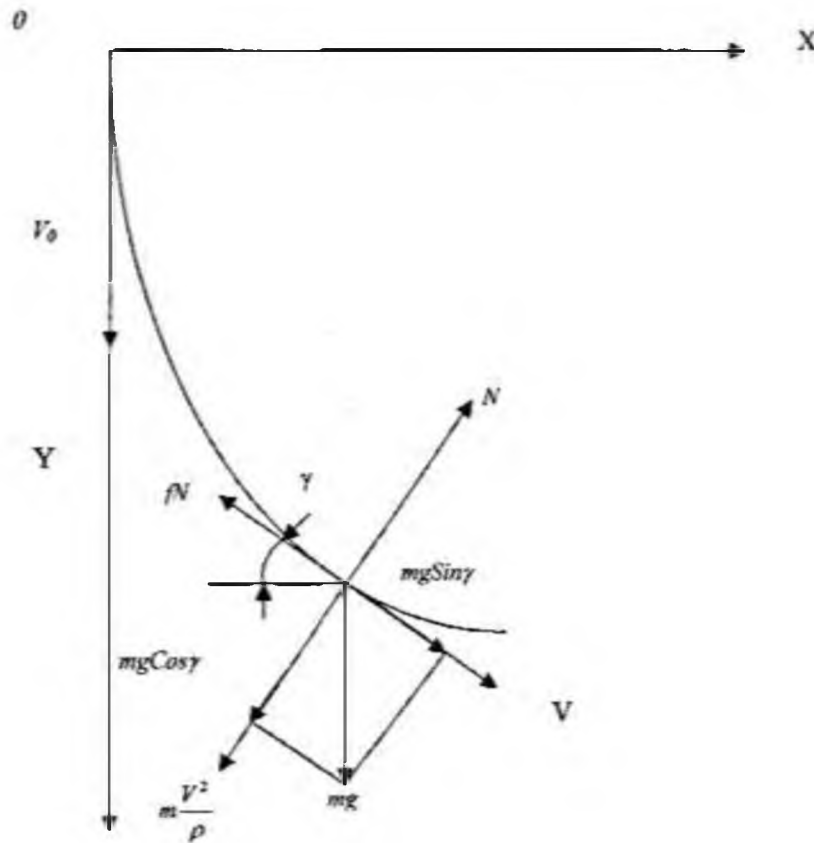


Рисунок 2.5 - Схема сил, що діють на матеріальну точку при русі по брахистохроні

$$m \cdot \frac{dV}{dt} = m \cdot g \cdot \sin \gamma - f \cdot N ;$$

$$N = m \cdot \frac{V^2}{\rho(\varphi)} + m \cdot g \cdot \cos \gamma , \quad (2.28)$$

де m - маса насіння, кг; V - швидкість насіння, м/с; N - сила нормального тиску, Н; γ - кут нахилу дотичної до обрїю, радіан; t - час руху, с; $\rho(\varphi)$ - радіус кривизни брахистохрони у залежності від кута повороту утворюючої кола φ , м.

Перенесемо AC паралельно самій собі до перетину з брахистохроною ($A'C$) і через точку перетину A проведемо лінію горизонту $A'C$ і дотичну l , тоді:

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi}{2}. \quad (2.32)$$

Врахуємо, що за час t коло повернеться на кут φ , тобто :

$$dt = \frac{d\varphi}{V} \rho(\varphi) = \frac{d\varphi}{V} \cdot d \cdot \cos \frac{\varphi}{2};$$

Підставимо значення (2.30), (2.31) і (2.32) у систему рівнянь (2.28), і після перетворень, одержимо:

$$V \cdot \frac{dV}{d\varphi} + f \cdot V^2 = g \cdot d \cdot \cos^2 \frac{\varphi}{2} - g \cdot d \cdot \frac{\sin \varphi}{2}. \quad (2.33)$$

Отримане диференціальне рівняння є рівнянням Бернуллі. Загальне рішення рівняння:

$$V^2 = g \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\varphi}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi - \cos \varphi}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi - \cos \varphi}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + e^{-2 \cdot f \varphi} \cdot C, \quad (2.34)$$

де C - постійна інтегрування

Постійну інтегрування визначимо з початкових умов: при куті повороту твірного кола брахистохрони, що відповідає точці потрапляння насіння на криволінійну твірну розподільника $\varphi = \varphi_0 - \varphi_1$, $V = V_0$:

$$C = e^{2 \cdot f \cdot \varphi_1} \cdot \left(V_0^2 - g \cdot d \cdot \left(\frac{\cos^2 \frac{\varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right) \right); \quad (2.35)$$

З урахуванням того, що $\varphi_0 = \pi$, можна записати:

$$\varphi = \pi - \varphi_1. \quad (2.36)$$

Підставивши значення постійної інтегрування C (2.35) і значення кута φ (2.36) у рівняння (2.34), провівши відповідні перетворення, одержимо формулу для визначення швидкості сходу насіння з криволінійної твірної розподільника:

$$V_{cx} = \left(g \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + \right. \\ \left. + e^{2 \cdot f \cdot (2 \cdot \varphi_1 - \pi)} \left(V_0^2 - g \cdot d \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] \right) \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (2.37)$$

При установці дільника під кутом до горизонту вираз (2.37) запишеться в такому вигляді:

$$V_{cx} = \left(g \cdot \cos \alpha \cdot d \cdot \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 + \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] + \right. \\ \left. + e^{2 \cdot f \cdot (2 \cdot \varphi_1 - \pi)} \left(V_0^2 - g \cdot \cos \alpha \cdot d \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left[\frac{\cos^2 \frac{\pi - \varphi_1}{2}}{f} + \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{2 \cdot f \cdot (4 \cdot f^2 + 1)} - \frac{2 \cdot f \cdot \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1}{4 \cdot f^2 + 1} \right] \right) \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (2.38)$$

Кут φ_1 визначиться з наступної формули

$$\varphi_1 = \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot a}{d} \right); \quad (2.39)$$

де a - відстань від осі розподільника до точки потрапляння насіння, м (рис. 2.7).

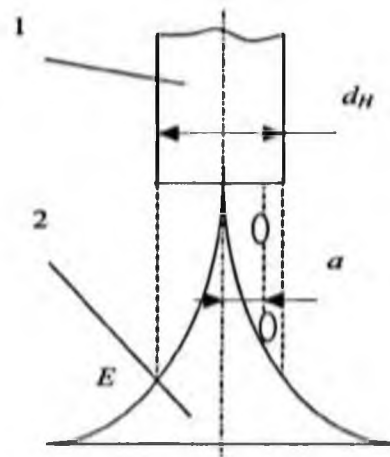


Рисунок 2.7 - Схема надходження насіння на подільник: 1 - направляч, 2 – подільник

Для аналізу залежності швидкості сходу від коефіцієнта тертя підставимо в залежність (2.38) значення $f=0,2...0,5$, при постійному значенні a і проведемо розрахунки. З отриманої залежності $V(f)$ (рис. 2.8) видно, що коефіцієнт тертя незначно (у межах зміни f зміна швидкості складає 5,5...5,9%) впливає на швидкість сходу.

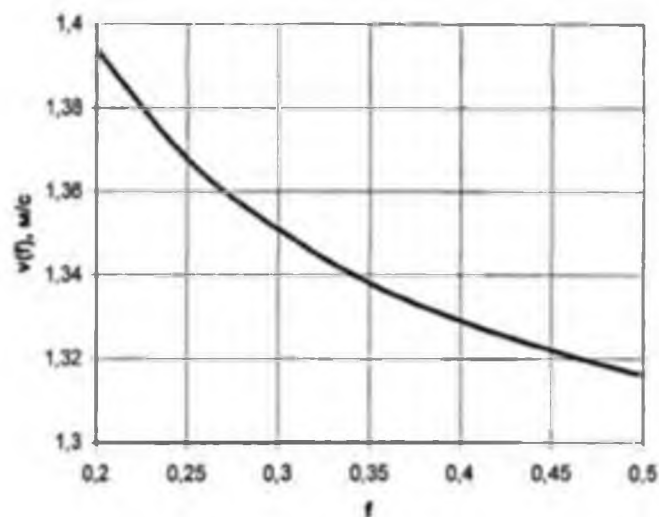


Рисунок 2.8 - Теоретична залежність швидкості сходу насіння від коефіцієнта тертя

Основним фактором, що впливає на швидкість сходу, є діаметр твірної кола брахистохрони. Оптимальний діаметр кола і, відповідно, геометричний розмір самого розподільника визначиться з погляду достатності швидкості сходу з криволінійної ділянки твірної розподільника.

Для аналізу залежності швидкості руху від координати влучення насіння на криволінійну поверхню підставимо в залежність (2.39) значення $a = 0...0,02$ і проведемо розрахунки за (2.38).

За результатами розрахунків побудуємо графічну залежність швидкості руху від координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню подільника $V(a)$ (рис. 2.9).

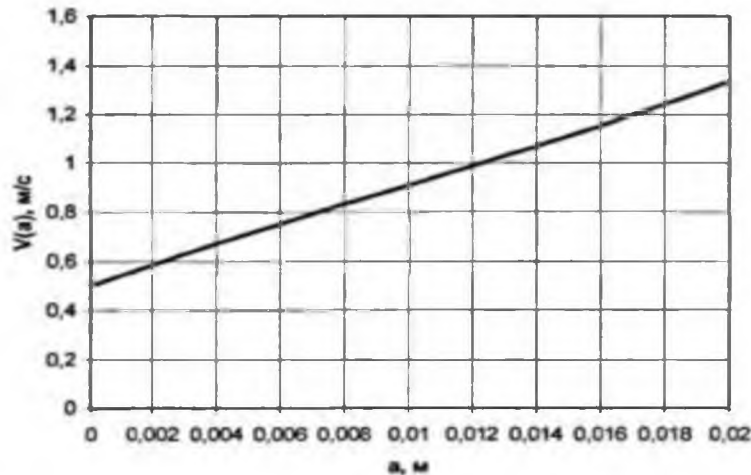


Рисунок 2.9 - Теоретична залежність швидкості руху насіння від координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню подільника

Найбільша швидкість сходу буде в тих насінин, що потрапляють на розподільник у крайній точці (E) проекції направляча насіння (рис. 2.7.), через те, що ці насінини будуть проходити меншу відстань по криволінійній поверхні і відповідно втрати кінетичної енергії на роботу сил тертя будуть менші. У цьому випадку кут φ_1 визначитися за такою залежністю:

$$\varphi_1 = \arccos\left(1 - \frac{d_n}{d}\right), \quad (2.40)$$

де d_n - внутрішній діаметр направляча, м.

Таким чином використовуючи отримані залежності (2.38)-(2.40) можна визначити швидкість руху насіння із криволінійної твірної в залежності від конструктивних параметрів (діаметра твірного кола, діаметра перетину вихідного направляча) подільника і координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню подільника.

2.5 Висновки

1. Обґрунтовано конструкцію висівної секції бурякової сівалки, обладнаної подільником потоку насіння і спареними сошниками.
2. Дослідження руху насіння в комірці диска і при виході з апарата. Запропоновано алгоритм розрахунку складових швидкостей виходу насіння з комірки диска і довжини висівного вікна (табл. 2.1).
3. Визначено параметри сошника. Дано алгоритм розрахунку довжини сошника в залежності від кутової швидкості висівного диска (табл. 2.2).
4. В результаті теоретичного аналізу визначені основні параметри висівного апарата, необхідні для його виготовлення: розмір і форма комірок, швидкість обертання диска, довжини висівного вікна і щок сошника. Основні положення і результати теоретичного дослідження робочого процесу експериментального апарата можуть бути використані для обґрунтування інтервалів і рівнів варіювання конструктивних, технологічних та режимних параметрів швидкісного висівного апарата при його дослідженні із застосуванням методів теорії планування екстремальних експериментів.
5. Визначено форму вітки подільника потоку насіння, що представляє собою комбінацію дільника з криволінійної твірною у виді брахистохрони, і похилу поверхню, що розподіляє, та є основою подільника. Швидкість руху насіння по криволінійній твірній подільника залежить від діаметра твірної кола брахистохрони і координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню.

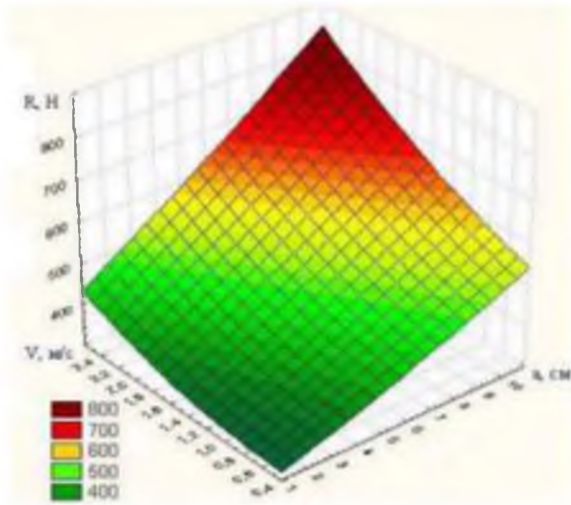


Рисунок 2.16 – Залежності тягового опору посівної секції від швидкості і глибини обробітку

На рисунку 2.16 представлені залежності тягового опору від спільного впливу швидкості руху і глибини ходу сошників.

З рисунка 2.16 видно, що зі збільшенням глибини ходу і швидкості руху посівної секції тяговий опір зростає, що відповідає результатам моделювання і не суперечить даним отриманим іншими дослідниками.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Для надійної роботи дисково висіваючого апарату необхідно забезпечити безперебійну поштучну подачу насіння з насінневої банки до подільника потоку і до сошника. Це можливо коли кожне гніздо диска заповнене насінням. Для перевірки роботоздатності запропонованої конструкції дискового висіваючого апарату необхідно експериментально перевірити заповнення гнізд диска.

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.

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:

- визначення допустимої швидкості обертання висівного апарату за показником заповнюваності лунок висівного диска;
- проведення дослідження розподілу насіння на липкій стрічці.

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.

3.2 Методика визначення допустимої швидкості обертання висівного апарату за показником заповнюваності лунок висівного диска

Досліди проводились в лабораторних умовах на стенді для випробування дискових висівних апаратів (рис. 3.1).

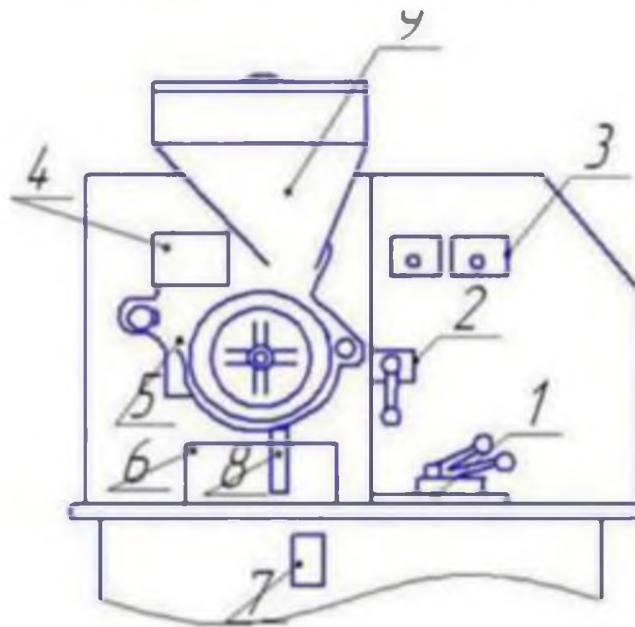


Рисунок 3.1 - Стенд для випробування дискових висівних апаратів:

1-редуктор; 2-муфта зчеплення;
3 – лічильники оборотів; 4 – датчик оборотів; 5-висіваючий апарат;
6-лоток; 7-магнітний пускач; 8- дільник потоку; 9 – бункер для насіння

Обладнання та прилади:

1. Стенд для випробування дискових висівних апаратів;
2. Висівний апарат сівалки ССТ-12Б;
3. Електронні ваги;
4. Насіння цукрових буряків.

Насіння цукрового буряка засипається в бункер сівалки. Встановлюємо приймальні лотки під висівний апарат, лічильники кількості обертів переводимо початку відліку. Включаємо двигун на 60 с, записуємо в таблицю кількість обертів диска, а насіння, що опинилося в лотку, зважують. Те саме проробляємо і на інших частотах обертання. Потім вираховуємо за формулою

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{60} \cdot \frac{m}{c \cdot T} \quad (3.1)$$

та записуємо в таблицю 3.1 швидкості обертання диска та коефіцієнти заповнення лунок.

Таблиця 3.1 - Визначення коефіцієнта заповнення диска

№ досліду	Кількість обертів диска, $n_d, \text{хв}^{-1}$	Маса насіння в лотку $T_c, \text{г}$		Швидкість обертання диска, м/с	Коефіцієнт заповнення лунок $k_3, \%$
		Фактична	Розрахункова		
I	2,26	3,915	3,580	0,026	109,362
II	2,71	4,268	4,293	0,031	99,426
III	2,9	4,481	4,594	0,033	97,549
IV	3,31	4,798	5,243	0,038	91,512

В результаті дослідів з'ясували, що найбільша ефективність посіву досягається за швидкості диска 0,033 м/с.

3.3 Методика проведення дослідження розподілу насіння на липкій стрічці

Головним критерієм якості роботи висівного пристрою є точність загорання насіння по довжині та ширині насінневого ложа. Експериментально це перевіряється у вигляді висіву насіння на липку стрічку [21].

Для перевірки якості розподілу насіння в рядку дільником потоку на сівалку ССТ-12В з нормою висіву 25 шт/м, описаним у розділі 2.1, ми використали експериментальну установку зображену на рис. 3.2.

Установка призначена для обліку норми висіву насіння та якості розподілу насіння цукрових буряків на клейкій стрічці загущеним способом з міжряддям 15 см одним висівним апаратом. Конструкція складається з металевої рами 1 стрічкового транспортера 2 і закріпленої над нею сівалки 3, що працює від електроприводу з встановленим дільником потоку. Для регулювання швидкості стрічки та сівалки було придбано та встановлено частотники 6 VLT® Automation Drive компанії Danfoss. Загальний вигляд висівного апарату з приводом представлений рисунку 3.3.



Рисунок 3.2 - Експериментальна установка для посіву насіння цукрових буряків із шириною міжряддя 15 см: 1 - рама установки; 2 - липка стрічка; 3 - висівний апарат; 4 - частотник для приводу стрічки; 5 - мотор-редуктор; 6 - частотник для приводу мотор-редуктора

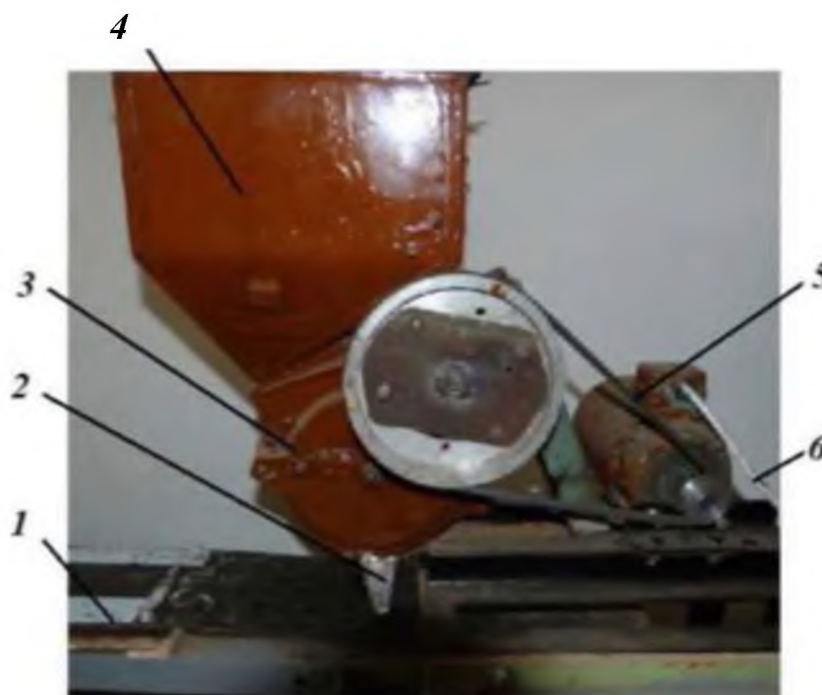
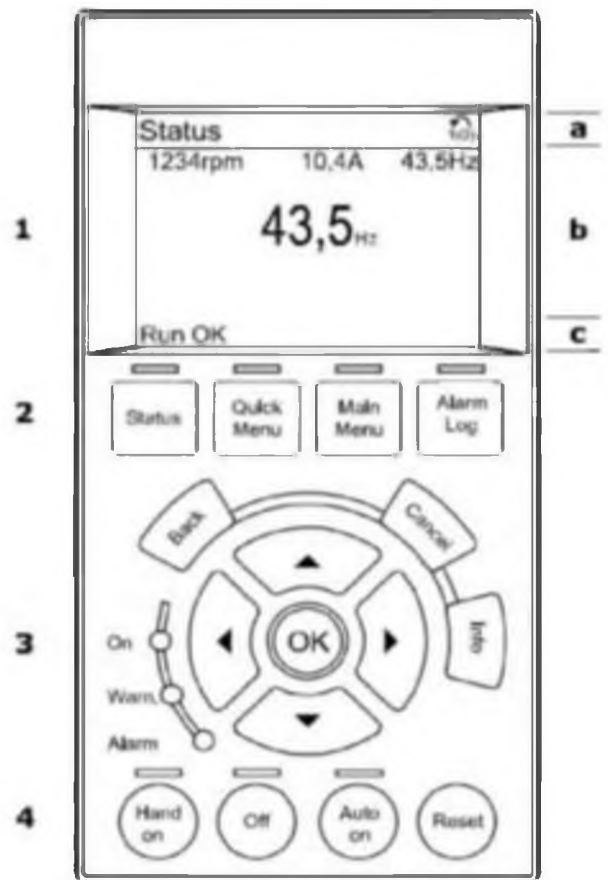


Рисунок 3.3 - Загальний вигляд експериментального висівного апарату: 1 – липка стрічка; 2 - подільник потоку насіння, 3 - висівний апарат; 4 – бункер для насіння; 5 – привід; 6 - кабель приєднання до частотника

Механізм висівного пристрою використовується від сівалки ССТ-12Б. Висіваючий диск має два ряди з 90 лунками на кожному рядку. Між рядками лунок прорізаний паз для встановлення подільника потоку насіння 2, який спрямовує потік насіння з кожного ряду і подає на відстань 15 см на липку стрічку. Дільник потоку своїм виступом входить у паз і утримується двома штифтами, які одночасно утримують клиноподібні скидачі насіння.



Загальний вигляд частотника



Панель керування

Рисунок 3.4 - Частотний перетворювач VLT Automation Drive: 1 - графічний дисплей з рядками стану; 2 - кнопки меню, що дозволяє виміряти параметри та перемикання функції дисплея, 3 - навігаційні кнопки, 4 - кнопки керування (світлодіоди), а – рядок стану, б - рядок даних оператора для відображення даних, с – текстовий рядок про стан

Диск висівного пристрою обертається електродвигуном, частоту обертання якого змінювали за допомогою частотника [21] VLT Automation Drive (рисунок 3.4). Частота обертання диска замірялася на веденому шківі приводу, а через передатне відношення визначаємо частоту обертання безпосередньо висівного диска.

На початку досвіду проводили відповідні регулювання висівного апарату на необхідну норму висіву, частоту обертання висівного диска, та регулювання стрічки транспортера, що імітує поверхню поля. Потім ми проводимо тарування установок. Для визначення частоти на валах приводу висівного апарату та валу приводу шківів стрічки нами використаний електронний тахометр марки СЕМ DT-6236В (рисунок 3.5) Даний тахометр визначає середнє значення частоти обертання.



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд тахометра

Таблиця 3.2 - Розмірні дані висівного диска та стрічки

Параметри	Висіваючий диск	Стрічка
d	0,22	0,3
i	6,93	0,295
r	0,11	0,15

Вимірювання проводили тричі зменшення впливу випадкової помилки [32]. Результати отриманих даних тарування наведено у таблицях 3.3-3.4.

Таблиця 3.3 - Результати тарування окружної швидкості висівного диска

Показання частотника, об/хв	Висіваючий диск, об/хв			
	1 вимір	2 вимір	3 вимір	Середнє
40		15		15,00
50	15	15	18	16,00
60	20	18	19	19,00
70	20		20	20,00
80	20	20	21	20,33
90	25		23	24,00
100	25	25	28	26,00
110			28	28,00
120	30	28	30	29,33
130			33	33,00
140	35	35	33	34,33
150			38	38,00
160	38	38	39	38,33
170			40	40,00
180	40	40	45	41,67
190			45	45,00
200	50	45	49	48,00
210			50	50,00
220	50	48	51	49,67
230			55	55,00
240	55	55	59	56,33
250			61	61,00
260	58	60	61	59,67
270			65	65,00
280	60	62	65	62,33
290			69	69,00
300	68	70	69	69,00

Таблиця 3.4 - Результати тарування швидкості стрічки

Показники частотника, Гц	Швидкість стрічки, м/хв			
	1 вимір	2 вимір	3 вимір	Середнє
1,0		1,1	1,1	1,100
2,0		1,8	1,8	1,800
3,0	2,0	2,0	2,0	2,000
4,0	2,2	2,5	2,2	2,300
5,0	2,8	3,1	3,0	2,967
6,0	3,4	3,5	3,2	3,367
7,0	3,5	3,8	3,8	3,700
8,0	4,1	4,5	4,1	4,233
9,0	4,8	4,8	4,9	4,833
10,0	5,1	5,0	5,1	5,067
11,0	5,5	5,5	5,3	5,433
12,0	6,0	6,1	6,7	6,267
13,0	6,1	6,5	6,5	6,367
14,0	6,8	6,7	6,9	6,800
15,0	7,1	7,5	7,1	7,233
16,0	7,8	7,8	7,9	7,833
17,0	8,1	8,1	8,1	8,100
18,0	8,8	8,8	8,5	8,700
19,0	9,0	9,1	9,1	9,067
20,0	9,5	9,5	9,5	9,500

Для більш наочного подання даних з тарування ми будемо графіки (рисунок 3.6 і 3.7).

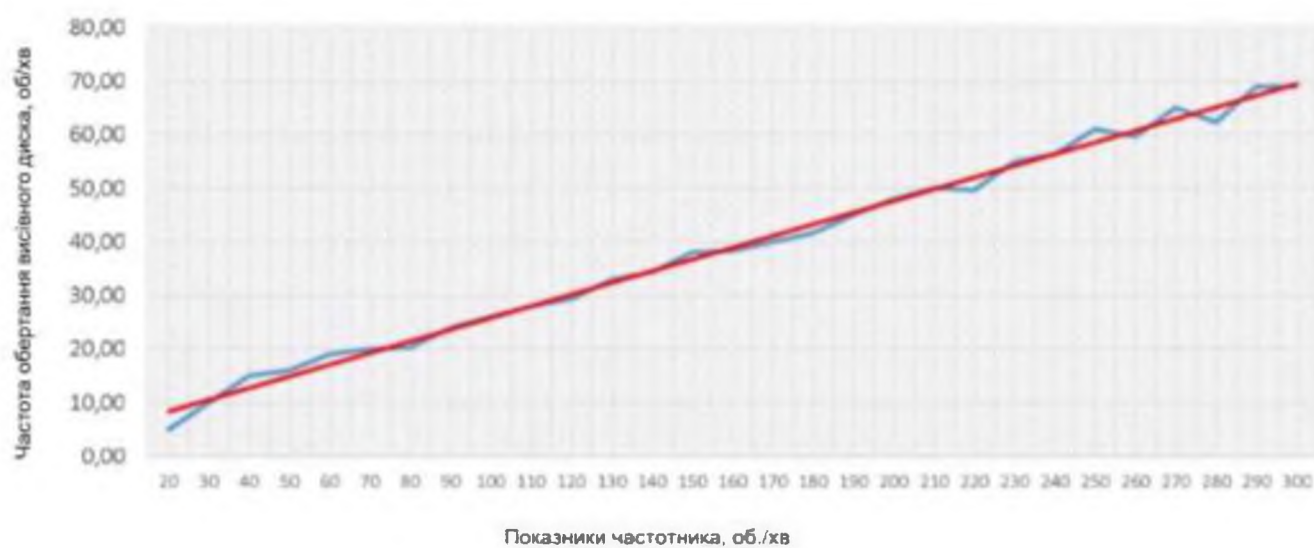


Рисунок 3.6 - Тарувальний графік частоти обертання висівного диска

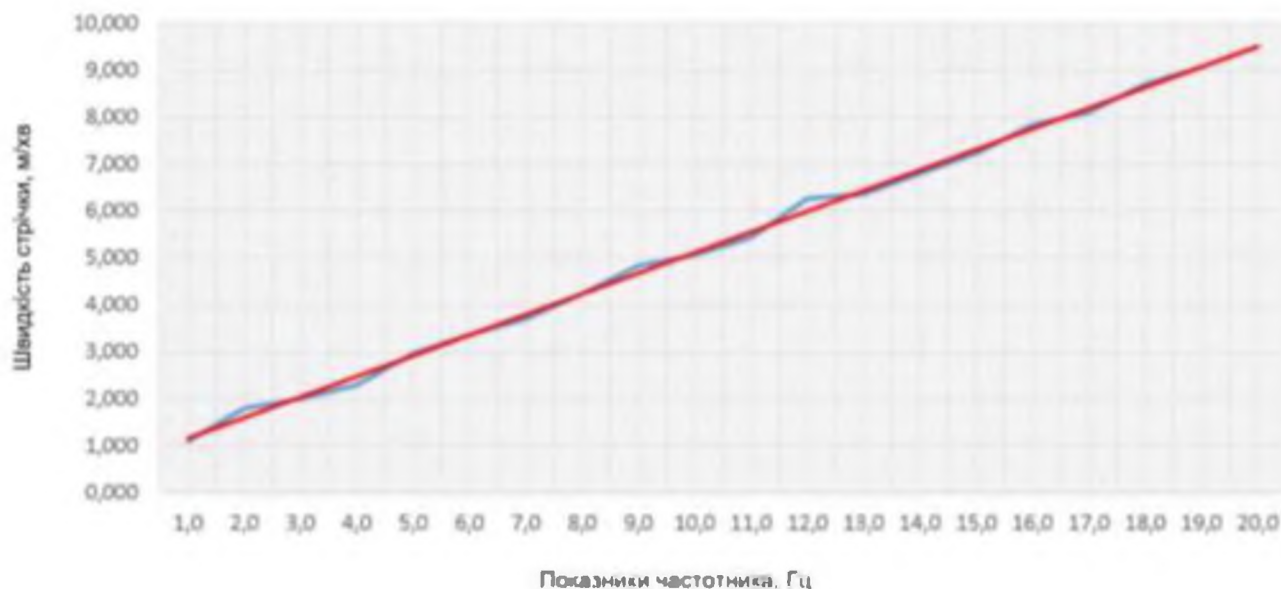


Рисунок 3.7- Тарувальний графік швидкості обертання стрічки

Досліджуючи даний графік, робимо висновок, що окружна швидкість та лінійна швидкість стрічки прямо пропорційні показникам частотника. Далі проводимо експеримент безпосередньо з матеріалом, що висіває.

На стрічку наклеюється дві двосторонні клейкі стрічки «Герлент» марки Б шириною 8 см на відстані 15 см один від одного (рисунок 3.8). Після заповнення бункера насінням, включаємо електродвигуни стрічкового транспортера, а потім висівного апарату, завчасно виключаючи попадання насіння на стрічку під час нестійкої пускової роботи за допомогою коробки. Швидкість стрічки підбирали на вимогу агротехніки посіву цукрового буряка. У момент встановлення руху коробку з висівного апарату забирається, щоб насіння з бункера потрапляло на липку стрічку. Після закінчення відрізка стрічки привод машин відключався. Потім заміряли відстань між насінням по довжині стрічки і розкид їх за шириною, результати заносилися в журнал і піддавалися математичній обробці надалі. Досліди повторювали тричі.

Оптимальна колова швидкість висівного диска визначалася за величиною коефіцієнта заповнення лунок насінням і дослідження приймалася рівною 0,033 м/с (розділ 4.1). Норма висіву насіння приймалася 10 шт./м.

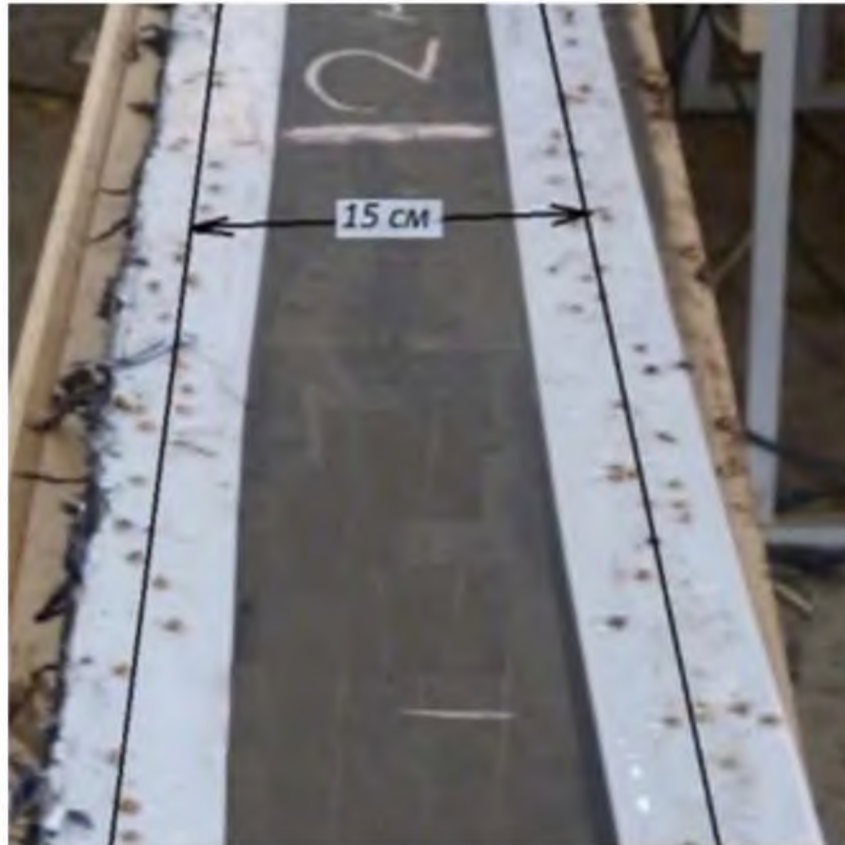


Рисунок 3.8 – Липка стрічка лабораторного стенду

Наприкінці досвіду ми вимірювали відстань між насінням на стрічці. Дані записували в зведену таблицю, яку наочності ми перетворили на графік (рисунок 3.9 – 3.10).

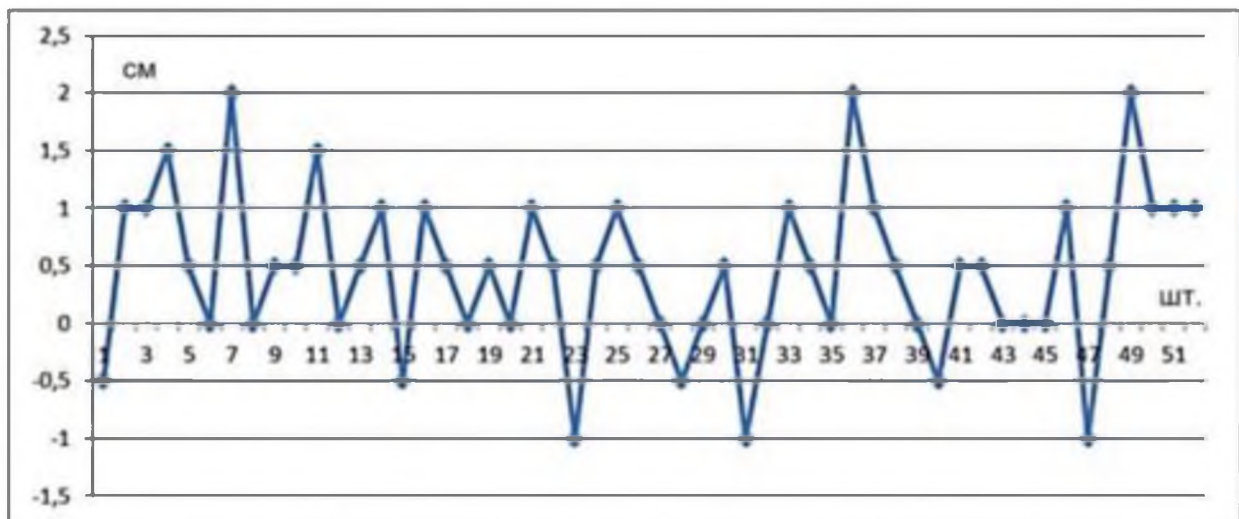


Рисунок 3.9 - Відстань між насінинами на стрічці, при швидкості 1.62 м/с
(лівий ряд)

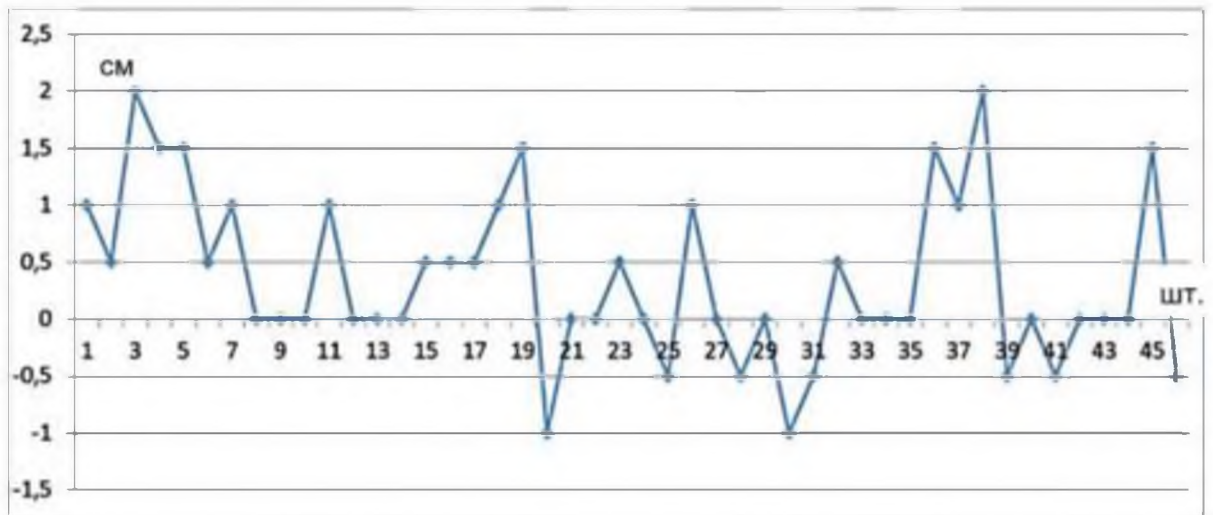


Рисунок 3.10 - Відстань між насінинами на стрічці, при швидкості 1.62 м/с
(правий ряд)

Аналогічні графіки отримуємо на швидкостях 1,07; 1,30; 1,46 та 1,62 м/с, наведені в додатку. Аналіз дослідження наведено у розділі 4.1.

Як дослідний зразок для досліджень та модернізації ми використовуємо сівалку ССТ-12Б [59].

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика сівалки ССТ – 12Б

Тяговий клас агрегуючого трактора	1,4-2
Робоча швидкість, км/год	7,2
Маса, кг	1330
Продуктивність, га/год	3,9
Ширина:	
захвата, м	5,4
міжрядь, см	45
Глибина загортання насіння, см	до 6
Норма висіву	
насіння, шт/м(пог.)	8-35
добрив, кг/га	70-355
Місткість бункера, дм ³	
насінневого	195
тукового	280

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для дослідження

Механічний апарат	ССТ-12Б
Діаметри дисків на рівні лунок	0,22 м;
Кількість лунок на дисках, шт.	90x2
Передаточне відношення приводу від валів з лічильниками обертів до валів висівних дисків	1:7

4 РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ЛАБОРАТОРНИХ І КОМП'ЮТЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Аналіз результатів експерименту з розподілу насіння в рядку

Після проведення лабораторних досліджень щодо розподілу насіння в рядку (розд. 3) ми отримали ламану лінію розподілу насіння на липкій стрічці (рис. 3.9 та 3.10). Застосовуючи статистичні методи обробки, отримуємо криву ймовірності появи різних інтервалів між насінням. Дані криві отримані при швидкості висівного диска 0,033 м/с, при швидкості стрічки 0,82; 1,07; 1,30; 1,46; 1,62 м/с, подані на рис. 4.1 – 4.5.

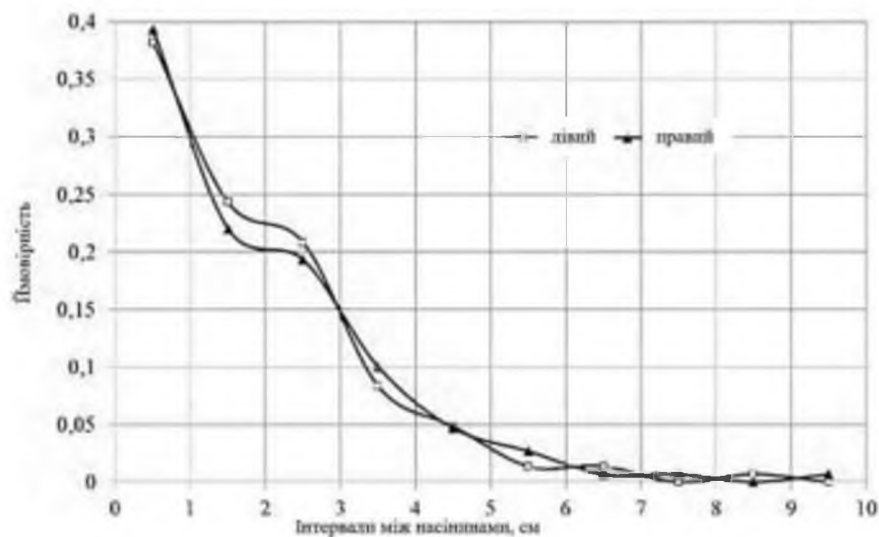


Рисунок 4.1 - Ймовірність розподілу інтервалів у рядку при швидкості 0,82 м/с

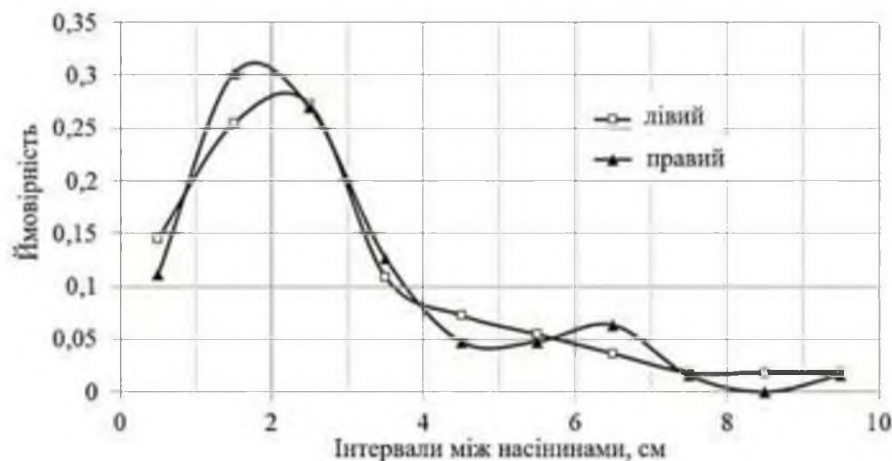


Рисунок 4.2 - Ймовірність розподілу інтервалів у рядку при швидкості 1,07 м/с

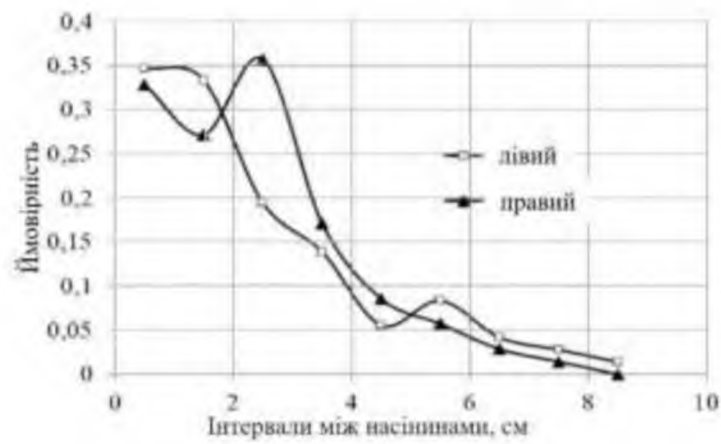


Рисунок 4.3 - Ймовірність розподілу інтервалів у рядку при швидкості 1,30 м/с

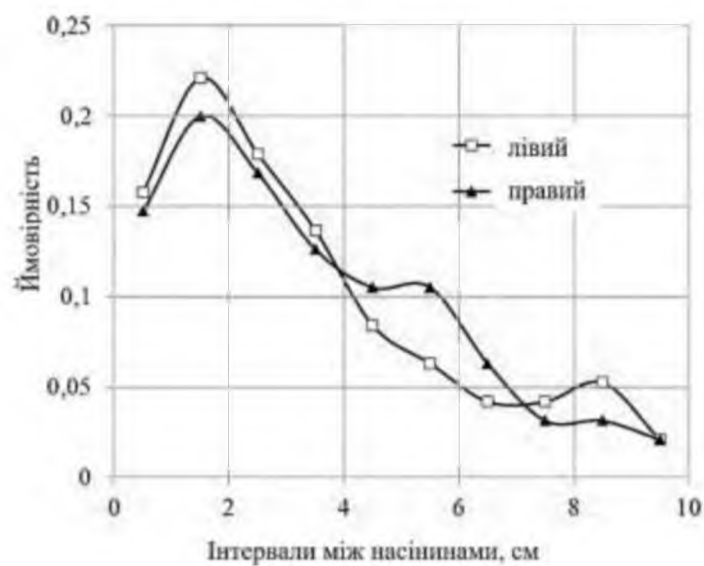


Рисунок 4.4 - Ймовірність розподілу інтервалів у рядку при швидкості 1,46 м/с

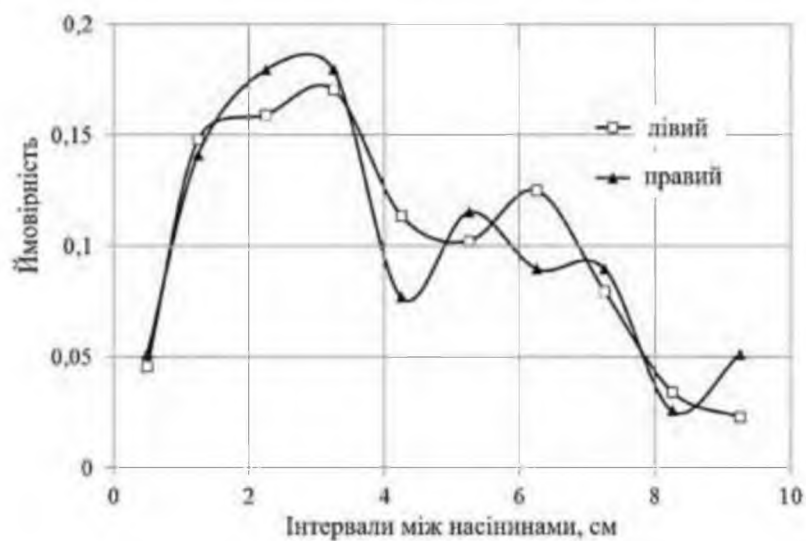


Рисунок 4.5 - Ймовірність розподілу інтервалів у рядку при швидкості 1,62 м/с

Проаналізувавши дані графіки, можна дійти до висновку, що криві ймовірнісного розподілу інтервалів у лівому і правому рядках знаходяться близько один до одного, показуючи цим точне розподілення насіння в рядках. І що при збільшенні швидкості вище 1,46 м/с точність розподілу насіння на порядок знижується.

Для повнішої картини наведемо графіки ймовірності відхилення насіння в рядку від центральної лінії.



Рисунок 4.6 - Ймовірність відхилення насіння від центру рядка при швидкості висіву 0,82 м/с



Рисунок 4.7 - Ймовірність відхилення насіння від центру рядка при швидкості висіву 1,07 м/с



Рисунок 4.8 - Ймовірність відхилення насіння від центру рядка при швидкості висіву 1,30 м/с



Рисунок 4.9 - Ймовірність відхилення насіння від центру рядка при швидкості висіву 1,46 м/с



Рисунок 4.10- Ймовірність відхилення насіння від центру рядка при швидкості висіву 1,62 м/с

Аналіз даних графіків (рисунок 5.6 - 5.10) показує, що при всіх швидкостях дотримується точність розподілу насіння щодо центру рядка в межах ± 1 см. Далі, ми систематизуємо отримані дані та знаходимо статистичні величини: середнє значення, середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації (таблиця 4.1 – 4.2)

Таблиця 4.1 - Розподіл насіння цукрових буряків у правому рядку при швидкості висівного диска 0,033 м/с

Показники	Величина показників при швидкостях стрічки				
	0,82	1,07	1,3	1,46	1,62
Середнє значення	2,18	3,23	2,35	4,64	4,09
Середнє квадратичне відхилення інтервалів між насінинами, см	2,14	2,16	1,99	3,02	2,39
Коефіцієнт варіації	0,8	0,78	0,75	0,68	0,62
Математичне сподівання, см	2,39	2,47	2,79	3,4	4,02

Таблиця 4.2 - Розподіл насіння цукрових буряків у лівому рядку при швидкості висівного диска 0,033 м/с

Показники	Величина показників при швидкостях стрічки				
	0,82	1,07	1,3	1,46	1,62
Середнє значення	2,19	3,11	2,35	4,64	4,53
Середнє квадратичне відхилення інтервалів між насінинами, см	1,88	1,92	1,47	2,64	2,28
Коефіцієнт варіації	0,78	0,73	0,72	0,74	0,57
Математичне сподівання, см	2,29	2,49	2,84	3,3	3,99

Для порівняння математичне сподівання та коефіцієнт варіації для лівого та правого рядків зобразимо на графіку (рисунок 4.11 і рисунок 4.12).



Рисунок 4.11- Залежність коефіцієнта варіації від швидкості стрічки у лівому та правому рядках

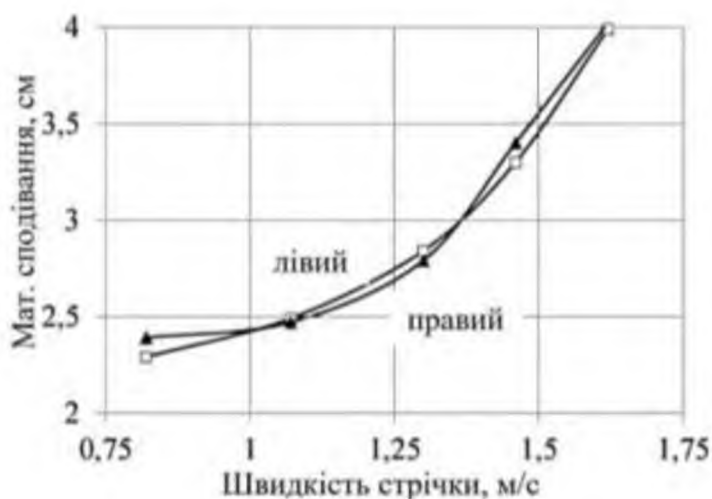


Рисунок 4.12- -Криволінійна залежність мат. очікування від швидкості руху стрічки

4.2 Аналіз результатів експерименту за допомогою програми математичного моделювання R

Результатом лабораторних досліджень стали графіки ймовірності розподілу насіння на стрічці при коловій швидкості диска 0,033 м/с та швидкостей стрічки 0,82; 1,07; 1,30; 1,46 та 1,62 м/с . Докладніше дані графіки описані в розділі 3.3.

Обробку графіків ми проводили серед статистичного аналізу даних R [1]. Спочатку ми представляємо координати графіків у матричному вигляді, де

перший стовпець матриці – інтервали між насінням, а другий та третій – ймовірність розподілу у лівому та правому рядках відповідно.

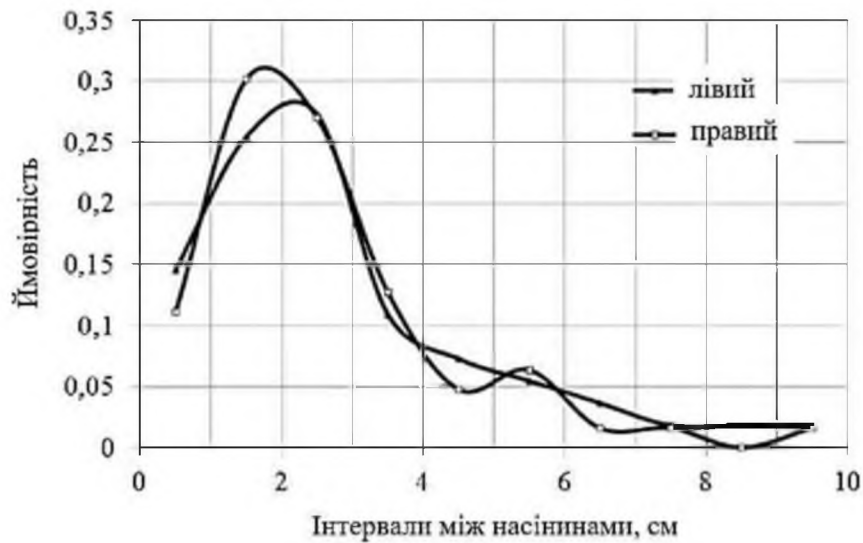


Рисунок 4.13 - Ймовірність розподілу насіння на стрічці за швидкості висівного диска 0,033 м/с (швидкість стрічки 1,07 м/с)

За допомогою функцій статистичного аналізу додаємо в матрицю значень додаткові стовпці, де в четвертому представлено середнє значення другого та третього стовпців, а в п'ятому – кумулятивна функція, інакше значення накопиченої ймовірності *cumsum (pL)* [20].

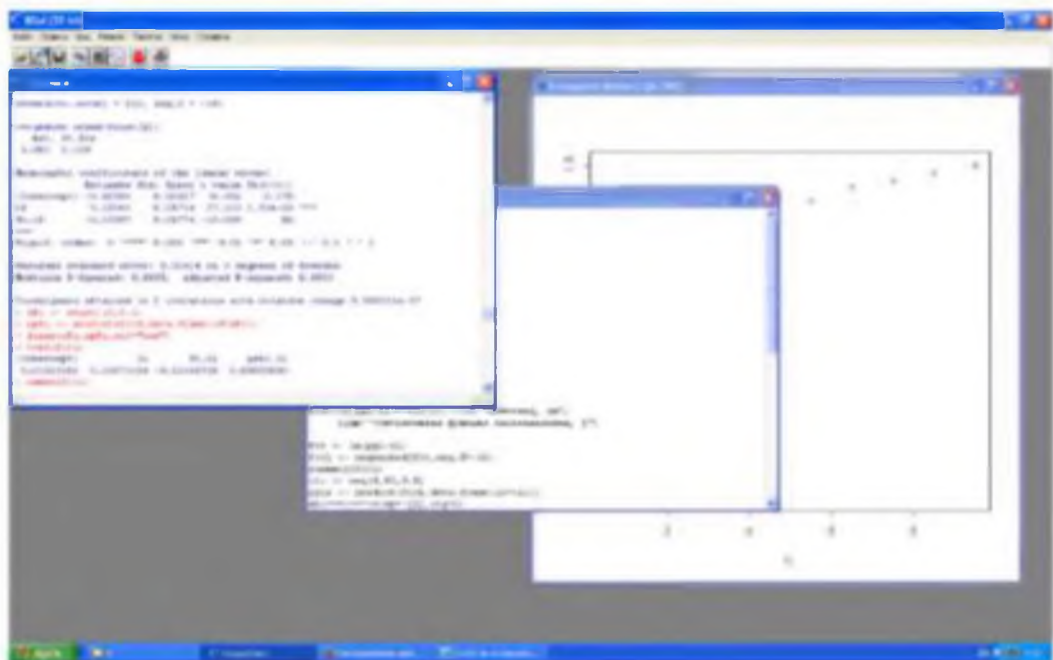


Рисунок 4.14 - Програмне середовище прикладної математичної системи R
Зобразимо точки накопиченої ймовірності в системі декартової координат, де віссю X є відстань між насінням, а віссю Y - накопичена ймовірність (кумулятивна функція).

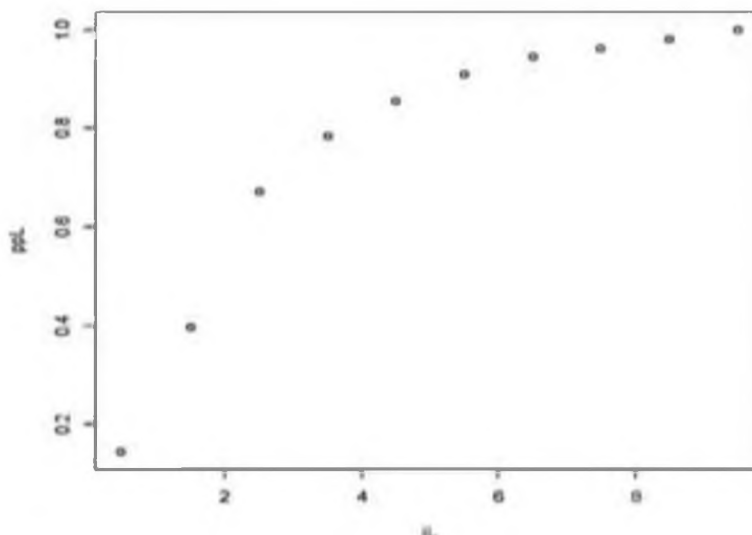


Рисунок 4.15 - Подання кумулятивної функції розподілу насіння лівому рядку на Декартовій системі координат

Аналіз експериментальних даних дає підстави припускати, що у основі кумулятивної функції розподілу малюнку 3 лежать дві лінійні функції. Щоб це перевірити, підключаємо бібліотеку сегментної регресії [*library(segmented)*] [20]:

Лістинг 4.1 – Побудова моделі сегментної регресії

```
iL <- xyL[,1]
ppL <- xyL[,2]/sum(xyL[,2])
ppL <- smooth.spline(ppL)
plot(iL,ppL,ylim=c(0,1), xlab="Інтервал, см",
     ylab = "Кумулятивна функція розподілу, 1")
fit <- lm(ppL~iL)
fitL <- segmented(fit,seg.Z=~iL)
summary(fitL)
iLi <- seq(0,10,0.1)
ppLi <- predict(fitL, data.frame(iL=iLi))
abline(v=fitL$psi[2], lty=2)
lines(iLi,ppLi,col="black")
```

Аналіз сегментування дає уявлення, що в основі кумулятивного розподілу лежать дві лінійні функції (рисунок 4.16), причому це можна стверджувати з похибкою 0,7% (лістинг 4.2). Отже, наше припущення підтвердилося.

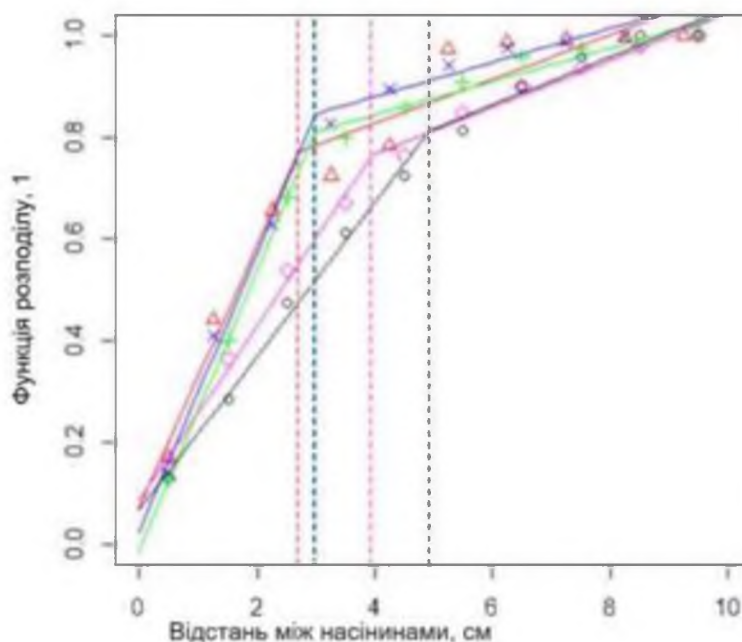


Рисунок 4.16 - Залежність накопиченої ймовірності залежно від відстані між насінням

Лістинг 4.2. Аналіз моделі сегментної регресії

```

Meaningful coefficients of the linear terms:
      Estimate Std. Error  t value Pr (>|t|)
(Intercept)      -          0.02939   -1.065    )      **
0.03129          0.01721   17.254    0.328
iR              0.01781   -15.192  > 43e-06
Signif. codes: 0 '***' 0.001      '**'0.01    '*'0.05  '+'0.1    ' ' 1
Residual standard error: 0.02434 on 6 degrees of freedom
Multiple R-Squared: 0.9955, Adjusted R-squared: 0.9932

```

Грунтуючись на даній теорії можемо здійснити дослідження кумулятивної функції розподілу для всіх швидкостей стрічки: 0,82; 1,07; 1,30; 1,46 та 1,62 м/с. Для більш наочного уявлення, рисунку 4.16 графіки розподілу залежно від швидкості пофарбовані різним кольором (0,82 м/с - червоний, 1,07 м/с - зелений, 1,30 м/с - синій, 1,46 м/с - фіолетовий, 1,62 м/с - чорний).

На рисунку 4.16 чітко виражене різке зростання функції спочатку і після точки зламу кут нахилу йти до 0. Точки зламів графіків накопиченої ймовірності є параболою. Це легко перевірити, підключивши модуль апроксимації за біквратною функцією, що, власне, видно на рисунку 4.16. Це можемо стверджувати з точністю 92% (лістинг 4.3).

Лістинг 4.3. Числові характеристики моделі регресії

```

1          2          3          4          5
0.04944 0.02202 -0.24683 0.25934 -0.08396
Coefficients:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.4974    0.1175   29.754 0.00113 **
poly(v, 2)1  1.6411    0.2628    6.244 0.02470 *
poly(v, 2)2  0.7912    0.2628    3.010 0.09490 .
Signif. codes: 0      0.001      0.01      0.05      0.1 ' ' 1
Residual standard error: 0.2628 on 2 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.96, Adjusted R-squared: 0.9201
F-statistic: 24.02 on 2 and 2 DF, p-value: 0.03996

```

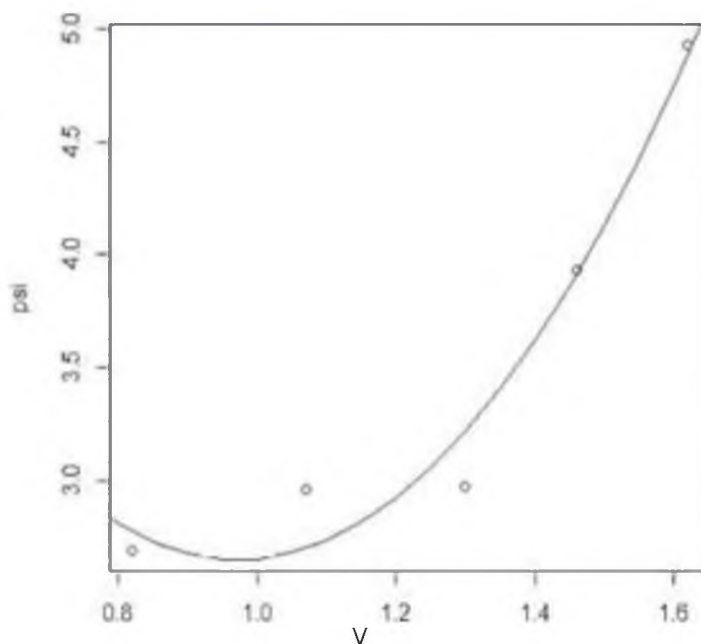


Рисунок 4.17- Залежність точки зламу розподілу від швидкості посіву сівалки

4.3 Висновки

1. Криві ймовірнісного розподілу інтервалів у лівому і правому рядках знаходяться близько один до одного, показуючи цим точне розподілення насіння в рядках.

2. Результати дослідження показують, що при перевищенні швидкості сівалки вище 1,5 м/с розподіл насіння в рядку виявляється найбільш придатним для посіву. При низькій швидкості виникають близькі інтервали між насінням. Відповідно робимо висновок, що висів сівалкою ССТ - 12Б з подільником потоку необхідно здійснювати зі швидкістю 1,46... 1,62 м/с.

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 висівної секції бурякової сівалки, обладнаної подільником потоку насіння і спареними сошниками.

2. Дослідження руху насіння в комірці диска і при виході з апарата. Запропоновано алгоритм розрахунку складових швидкостей виходу насіння з комірки диска і довжини висівного вікна (табл. 2.1).

3. Визначено параметри сошника. Дано алгоритм розрахунку довжини сошника в залежності від кутової швидкості висівного диска (табл. 2.2).

4. В результаті теоретичного аналізу визначені основні параметри висівного апарата, необхідні для його виготовлення: розмір і форма комірок, швидкість обертання диска, довжини висівного вікна і щок сошника. Основні положення і результати теоретичного дослідження робочого процесу експериментального апарата можуть бути використані для обґрунтування інтервалів і рівнів варіювання конструктивних, технологічних та режимних параметрів швидкісного висівного апарата при його дослідженні із застосуванням методів теорії планування екстремальних експериментів.

5. Визначено форму вітки подільника потоку насіння, що представляє собою комбінацію дільника з криволінійної твірною у виді брахистохрони, і похилу поверхню, що розподіляє, та є основою подільника. Швидкість руху насіння по криволінійній твірній подільника залежить від діаметра твірної кола брахистохрони і координати потрапляння насіння на криволінійну поверхню.

6. Визначено допустиму швидкість обертання висівного апарату за показником заповнюваності лунок висівного диска. Встановлено, що найбільша ефективність посіву досягається за колової швидкості диска 0,033 м/с.

7. Дослідження розподілу насіння на липкій стрічці показали, що криві ймовірнісного розподілу інтервалів у лівому і правому рядках знаходяться близько один до одного, показуючи цим точне розподілення насіння в рядках.

8. Результати дослідження показують, що при перевищенні швидкості сівалки вище 1,5 м/с розподіл насіння в рядку виявляється найбільш придатним для посіву. При низькій швидкості виникають близькі інтервали між насінням. Відповідно робимо висновок, що висів сівалкою ССТ – 12В з подільником потоку необхідно здійснювати зі швидкістю 1,46... 1,62 м/с.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Аладьев В.З. Бойко В. К., Ровба Е. А. Программирование и разработка приложений в Maple. Гродно: ГрГУ; Таллинн: Межд. Акад. Ноосферы, Балт. отд. 2007. 458 с.
2. Борисюк В. А., Зуев Н. М., Паламарчук В. И., Н. П. Волоха. Возделывание сахарной свеклы при комбинированной ширине междурядий. Механизация технологических процессов в свекловодстве. Киев. ИСС УААН. 1994. С. 3-16.
3. Буряки цукрові. Сівба. Показники якості та методи їх контролювання: ДСТУ 6054:2008. [Чинний від 2008-01-01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2007. 12 с. (Національний стандарт України).
4. Буряківництво. Проблеми інтенсифікації та ресурсозбереження. За ред. В. Ф. Зубенка. Київ. НВП ТОВ «Альфа-стевія ЛТД». 2007. 486 с.
5. Волоха М. Агентне імітаційне моделювання механізованих технологічних процесів вирощування буряків цукрових. Наукові доповіді НУБіП України. [S.I.], п. 3(73), вер. 2018.
6. Волоха М. П. Вплив експлуатаційно-технологічних факторів на точність сівби буряків цукрових. Наукові доповіді НУБіП України. 2016. №3 (60).
7. Волоха М. П. Вплив ширини міжрядь на фотосинтетичну продуктивність буряків цукрових. Цукрові буряки. 2016. № 1 (109). С. 13-15.
8. Волоха М. П. Дорошенко Ю. О. Оптимізація схеми сівби цукрових буряків відповідно до задіяного технологічного комплексу машин. Сучасні проблеми геометричного моделювання. XV Міжнародна науково-практична конференція. 4-7 червня 2013 р. Мелітополь. ТДАТУ. 2013. Вип. 4. т. 57. С. 35-44.
9. Волоха М. П. Технологічний комплекс машин для виробництва буряків цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань. Київ. ТОВ «Центр учбової літератури». 2015. 220 с.
10. Волоха М. П., Войтюк П. О. Швидкість руху сівалки, норма висіву і точність розміщення насіння. Цукрові буряки. 1999. № 3. С. 12-13.

11. Волоха М., Войтюк П. Дослідження показників точності розміщення сходів буряків цукрових. Техніка і технології АПК. 2016. № 8. С. 5-7.
12. Волоха М., Дмитриченко В. Західноєвропейські машини на бурякових полях України. Пропозиція. 1996. № 4. С. 55-56.
13. Гапоненко В.С, Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини та їх використання. 4 – те вид., доп. і перероб. – К.: Урожай, 1982 – 312с.: іл
14. Дерев'яно Д. А., Сукманюк О. М., Дерев'яно О. Д. Вплив механічних навантажень на травмування насіння. Сучасні прблеми землеробської механіки. 18-та Міжнародна наукова конференція. Тернопіль. Крок. 2017. С.77-79.
15. Доронін В. А., Карпук Л. М., Черната Д. М. Продуктивність цукрових буряків залежно від способів підготовки насіння. Цукрові буряки. 2008. № 1. С. 8-10.
16. Довідник сільського інженера / В.Д.Гречкосій, О.М.Погорілець, І.І.Ревенко та ін.; За ред.В.Д.Гречкосія. – К.: Урожай,1988.
17. Дорошенко Ю.О., Волоха М.П. Моделювання траєкторії польоту насінини при сівбі висівним апаратом пневматичного типу. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Мелітополь. ТДАТУ. 2012. Вип. 4. т. 55. С. 81-86.
18. Кваліфікаційна робота магістра [Текст]: Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів освітнього ступеня «магістр» за освітньо-професійною програмою «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» спеціальності 133 Галузеве машинобудування машинобудівного факультету денної та заочної форм навчання/ уклад. В.Ф. Дідух, Л.Ю. Забродоцька. – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – 52 с.
19. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Ковальчук, Ю.Г. Фесіна, І.Л.Заблоцька Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
20. Кумулятивная функция распределения - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://dic.academic./dic.nsf/wiki/994031#.D0.9E.D0.BF.D1.80>

21. Методики проведення досліджень у буряківництві. Під заг. ред. академіка НААН М. В. Роїка та член-кореспондента НААН Н. Г. Гізбулліна. Київ. ФОП Корзун Д. Ю. 2014. 374 с.
22. Морозов І. В. та ін. Тенденції розвитку сівалок. Агробізнес сьогодні. 2018. № 10. С. 100-102.
23. Пачковський А. Розробка подільника потоку насіння для висівуючого апарата бурякової сівалки // Тези III студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, Луцький НТУ. – 2023 р. – С. 47-49.
24. Писаренко Г.С. та ін. Опір матеріалів: Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; За ред. Г.С. Писаренка. – К.: Вища школа., 1993 – 655с.:іл.
25. Рекомендації з технології весняного обробітку ґрунту, сіви та догляду за посівами цукрових буряків в умовах 2012 року. Київ. ІБКіЦБ. 2012. 40 с.
26. Хайліс Г.А. Механіка рослинних матеріалів / Г.А. Хайліс, Ю.В. Федорусь. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2004. – 302 с.
27. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. Посібник. – Київ: вид-во УСГА, 1992. – 240 с.
28. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч. посібник. – К.: НМКВО. 1992 – 320с.
29. Volokha Mykola Model of Trajectory of Falling Seed When Sowing Sugar Beet by Pneumatic Seeder. ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization. Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 3. P. 73-79.
30. Volokha Mykola Tillage Tool Modeling for Soil Loosening Before Sugar Beet Seeding. ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2. P. 43-49.

ДОДАТКИ

