

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а  
до дипломної роботи  
освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Дослідження технологічного процесу висіву насіння кукурудзи  
пневматичним висівним апаратом просапної сівалки**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-4-24 за  
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Закопай Діана Петрівна

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Пономаренко Наталія  
Олександрівна

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро – 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ ТСГМ \_\_\_\_\_.

(назва кафедри)

\_\_\_\_\_ доцент \_\_\_\_\_.

(вчене звання)

\_\_\_\_\_ Теслюк Г.В. \_\_\_\_\_

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

\_\_\_\_\_ Закопай Діана Петрівна \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи \_\_\_\_\_ Пономаренко Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» жовтня 2025 року № 3182

**2. Строк подання студентом роботи** 28.11.2025 р.

**3. Вихідні дані до роботи** Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих засобів сівби. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) Сучасний стан механізації сівби просапних культур. Теоретичні дослідження руху насіння в насіннепроводах висівних апаратів. Програма і методика експериментальних досліджень. Результати експериментальних досліджень. Охорона праці та безпека в надзвичайних

ситуаціях. Економічна ефективність впровадження пневматичної сівалки. .  
Висновки. Бібліографічний список.

### 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі, об'єкт, предмет досліджень. 2. Класифікація висівних апаратів/  
3.Огляд просапних сівалок. 3. Теоретичні дослідження руху насіння в  
насінінспроводах висівних апаратів. 4. Дослідження процесів руху насіння по  
насінінспроводу вдосконаленого висівного апарату. 5. Програма і методика  
експериментальних досліджень. 6, 7. Результати експериментальних  
досліджень. 9. Техніко-економічні показники. 10. Висновки.

### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завда ння прий няв
1	Пономаренко Н.О.		
2	Пономаренко Н.О.		
3	Пономаренко Н.О.		
4	Пономаренко Н.О.		
5	Пономаренко Н.О.		
6	Пономаренко Н.О.		
нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 30.08.2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 30.05.2025 р.	
2	Теоретичний	до 10.07.2025 р.	
3	Експериментальний	до 29.09.2025 р.	
4	Охорона праці	до 15.10.2025 р.	
5	Економічний	до 22.10.2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 29.10.2025 р.	

Студент

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Закопай Д.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Пономаренко Н.О.

(прізвище та ініціали)



## Зміст

Анотація.....	9
Вступ.....	10
1. Сучасний стан механізації сівби просапних культур.....	12
1.1. Короткий аналіз технології і засобів посіву кукурудзи.....	12
1.2. Короткий огляд конструкцій висівних апаратів для однозернового висіву насіння просапних культур та шляхи їх вдосконалення.....	16
1.3. Висновки.....	29
2. Теоретичні дослідження руху насіння в насіннепроводах висівних апаратів.....	31
2.1. Аналітичні дослідження способів управління процесом доставки насіння на дно борозни в просапних сівалках.....	31
2.2. Розробка функціональної схеми і конструкції висівного апарату з насіннепроводом.....	36
2.3. Дослідження процесів руху насіння по насіннепроводу вдосконаленого висівного апарату.....	39
2.3.1. Вибір моделі сипучого тіла посівного матеріалу.....	39
2.3.2. Розробка моделі та аналіз процесу руху насіння по насіннепроводу	40
2.4. Висновки до розділу.....	54
3. Програма і методика експериментальних досліджень.....	55
3.1. Мета і програма експериментальних досліджень.....	55
3.2. Методика експериментальних досліджень. Обладнання та прилади для проведення досліджень.....	56
3.2.1. Методика і обладнання для досліджень властивостей посівного матеріалу.....	56
3.2.2. Методика дослідження удару насіння об ґрунт в серійній просапній сівалці.....	58
3.3. Методика проведення польового дослідження.....	68

	8
4. Результати експериментальних досліджень.....	72
4.1. Результати дослідження властивостей посівного матеріалу.....	72
4.2. Результати досліджень удару насіння об ґрунт в серійній просапній сівалці.....	74
4.3. Дослідження процесу руху насіння по насіннепроводу.....	79
4.4. Результати проведення польових дослідів.....	87
4.5. Висновки до розділу.....	91
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	92
6. Економічна ефективність впровадження пневматичної сівалки.....	101
6.1. Визначення галузевої собівартості посівного агрегату.....	101
6.2. Визначення економічної ефективності удосконалення посівного агрегату.....	103
6.3. Висновки до розділу.....	105
Загальні висновки.....	106
Список використаної літератури.....	108

### Анотація

Дослідження технологічного процесу висіву насіння пневматичним висівним апаратом просапної сівалки.

Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, що містить 99 аркушів друкованого тексту та 8 аркушів ілюстративної частини.

Мета роботи є підвищення якості посіву просапних культур пневматичними сівалками шляхом установки насіннепроводів, що забезпечують керованість рухом насіння від висівного апарату до дна борозни.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено наступні задачі досліджень:

- проведено аналітичні дослідження можливостей управління процесом доставки насіння на дно борозни в серійних просапних сівалках;
- розроблено функціональну схему і конструкцію експериментального висівного апарату з насіннепроводом-прискорювачем руху насіння;
- теоретично обґрунтовано закономірності руху насіння в насіннепроводі вдосконаленого пневматичного висівного апарату, що враховують вплив швидкості руху агрегату;
- проведено експериментальні дослідження по уточненню властивостей посівного матеріалу, котрі впливають на показники роботи висівного апарату;
- виконано експериментальні дослідження удосконаленого висівного апарату з наступним визначенням раціональних конструктивно-технологічних параметрів насіннепроводу з прискорювачем руху насіння;
- проведено техніко-економічну оцінку ефективності застосування удосконаленого висівного апарату при посіві кукурудзи.

Ключові слова: сівалка просапна, сівба, кукурудза, висівний апарат, конструктивно-технологічна схема.

## Вступ

Технологічний процес виробництва будь-якої сільськогосподарської культури складається із сукупності послідовно виконуваних технологічних операцій, які за ступенем впливу на них людини діляться на повністю залежні, частково залежні і незалежні від діяльності людини.

Посів просапних культур відноситься до технологічних операцій з високим ступенем залежності якості їх виконання від виробника цієї операції, причому ця залежність визначається не тільки чітким виконанням технологічно необхідних робіт, а й застосуванням найбільш досконалих на даний момент часу посівних машин.

Для посіву просапних культур в даний час використовується широкий спектр пневматичних сівалок як вітчизняного, так й іноземного виробництва (СУПН-8А, СУПН-8А-01, СКПП-12, СПК-8, СПКА-1 «Тана», УПС-12, УПС-8, СТВ-107/2 «Лелека», «MaterMass», «Gaspardo», «Optima» і ін.). Характерною особливістю перерахованих вище сівалок є висівний апарат пневматичної дії (типу СУПН), в конструкції якого відсутній насіннепровід. У таких сівалках сошник кріпиться безпосередньо до висівних апаратів і насіння, що скидається з диска висівного апарату, вільно падає через сошник на дно борозни. Така компоновка робочих органів сівалки спрощує її конструкцію, максимально наближає висівний апарат до дна борозни, але при цьому не забезпечується достатня рівномірність розподілу насіння по дну борозни, особливо на високих швидкостях. Вільне падіння насіння від висівного апарату до дна борозни є вірогідним процесом, при якому спостерігаються такі явища:

- як у будь-якого ймовірного процесу виникає розкидання точок приземлення насіння, як уздовж борозни, так і поперек її. Поздовжнє розкидання насіння по дну борозни погіршує рівномірність посіву, поперечне розкидання насіння негативно впливає на рівномірність глибини його закладення. І те й інше в сукупності знижує врожайність культур і, відповідно, економічні показники її виробництва;

- в момент дотику насіння дна борозни завжди відбувається косий удар його об ґрунт, в результаті чого при певних швидкостях відбувається відскокування насіння, причому визначити параметри цього відскоку практично неможливо.

Зазначені недоліки зводять нанівець всі зусилля по вдосконаленню висівних апаратів як дозувальних систем подачі насіння. Висівний апарат з ідеально рівномірним подаванням насіння на виході з нього не є гарантією такого ж рівномірного розподілу насіння по дну борозни. Таким чином, вдосконалення процесу висіву насіння просапних культур пневматичними висівними апаратами є актуальним питанням і знаходить науково-практичну значимість.

Передбачається, що усунути вище зазначені недоліки можна в тому випадку, якщо процес руху насіння від висівного апарату до дна борозни буде керованим, тобто відбуватися по заданій траєкторії і з необхідною швидкістю. Конструктивно це можливо, якщо рух насіння після висівного апарату буде здійснюватися по насіннепроводу визначеної форми, який не тільки забезпечує сталість траєкторії руху насіння, але має можливість змінювати швидкість насіння в необхідних межах за допомогою прискорювача руху насіння. У пневматичних сівалках найбільш раціональним представляється використання пневматичного прискорювача, котрий забезпечує зміну швидкості насіння, що рухається по насіннепроводу, за допомогою повітряного потоку.

## 1. Сучасний стан механізації сівби просапних культур

### 1.1. Короткий аналіз технології і засобів посіву кукурудзи

На даний момент перед сільським господарством України поставлено завдання значного збільшення виробництва тваринницької продукції. Це покладено в основу стратегії розвитку агропромислового комплексу на найближчі 5 років.

Пріоритетна роль при цьому відводиться кормовій базі, особливо кукурудзі [60]. Як висококонцентрований корм для тварин кукурудза перевершує овес, ячмінь, просо та інші зернові культури. Зерно кукурудзи є джерелом повноцінного білка (7-11%), а також жиру, вітамінів і мінеральних речовин. Цінність кукурудзи в тому, що вона дозволяє вирішити одночасно дві задачі - поповнити зерновий запас країни і отримати корми високої якості для тварин.

Кукурудза найпродуктивніша серед всіх зернових культур. Одна з її переваг в порівнянні з іншими культурами - менші витрати праці на обробіток. У світовому зерновому балансі кукурудза посідає третє місце після рису і пшениці.

У структурі валового збору зерна в Україні (рис. 1.1) частка кукурудзи в зерновому балансі невелика, проте намітилася тенденція підвищення з 4, 1% (2024 р.) до 5, 8% (2025 р.). При цьому середня врожайність кукурудзи на зерно значно вище ніж у інших культур і склала 28 ц/га, в той час як врожайність ярої пшениці, ярого ячменю і вівса склала відповідно 12, 0, 18, 4, і 16, 6 ц/га, тобто в 1, 5-2 рази нижче.

В Україні посіви кукурудзи використовують, перед усім, для отримання силосу, хоча в багатьох регіонах вона є самою врожайною зерновою культурою. Основними виробниками зерна кукурудзи є Вінницька, Житомирська і Черкаська області.

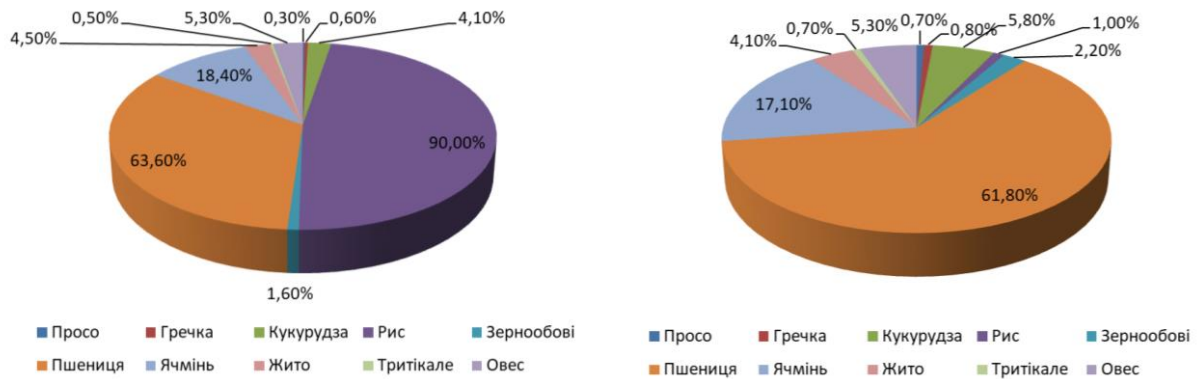


Рисунок 1.1. Структура валового збору зерна в Україні.

Кукурудза - важлива сировина для виробництва крохмалю, декстринів і спирту. Її використовують в якості сировини для харчових і нехарчових продуктів (рис. 1.2) [42, 61, 64].



Рисунок 1.2. Використання кукурудзи як сировини для отримання різних продуктів.

Про рентабельність виробництва культури можна судити по її собівартості.

Кукурудзу можна обробляти на ґрунтах всіх типів, але вони повинні бути

родючими, сприятливої структури, багатими поживними речовинами.

За фізико-механічним складом найбільш сприятливими для вирощування кукурудзи є суглинні і супіщані ґрунти. Високі врожаї вона дає на чорноземних і темно-каштанових ґрунтах, а також на піщаних, але за умови внесення підвищених доз органічних або органо-мінеральних добрив [60, 61].

Кислотність ґрунту повинна перебувати в межах 5, 6-7, 5 рН. При кислотності нижче 5, 6 рН врожайність зерна різко знижується, а при рН, що дорівнює 4, рослина кукурудзи гине [39, 42, 61].

Найкращими попередниками кукурудзи є ті культури, після яких ґрунт залишається родючим і незасміченим, зокрема, колосові, зернобобові, ріпак і сама кукурудза, поганими - багаторічні трави, суданська трава, соняшник. За біологічними ознаками хорошим попередником кукурудзи на зерно вважається цукровий буряк [36, 60].

Для отримання високих врожаїв кукурудзи тривалість дня повинна становити не менше 14 год 30 хв.

Оптимальними для вирощування кукурудзи є денні температури, що перевищують 19°C, а середні нічні - 13°C. Пороговою є температура 10°C, при більш низькій температурі вона практично припиняє розвиток [28, 34].

Оптимальними для кукурудзи вважається 450-600 мм опадів за сезон вегетації при наступному розподілі їх по місяцях квітень - 70 мм/м<sup>2</sup>, травень - 80, червень - 90, липень і серпень - по 120, вересень - 90 мм/м. Для проростання кукурудзи необхідно близько 44% води від маси насіння. На кожен міліметр води рослини кукурудзи отримують близько 20 кг/га зерна [36, 42].

Кукурудза пред'являє високі вимоги до наявності легко засвоюваних форм поживних речовин у ґрунті.

Для отримання 1 т зерна кукурудза споживає 25-30 кг азоту, 10-15 - фосфору, 30-40 - калію, по 6-10 кг кальцію і магнію. Потреба в мінеральних добривах залежить від їх наявності в ґрунті [42].

Якісний посів - ключовий фактор отримання високих врожаїв зерна кукурудзи. При його проведенні поряд з необхідністю внесення стартової дози

добрив слід забезпечити правильну підготовку насіння, своєчасність їх висіву, оптимальні глибину закладення і густоту посіву, рівномірність укладання насіння в рядку.

Терміни посіву залежать від регіону вирощування кукурудзи, стану ґрунту і можливості проходу по ньому посівних агрегатів. Оптимальними вважаються терміни, які передбачають посів кукурудзи при температурі ґрунту 10-12°C на глибині загортання насіння. Для отримання гарантованого врожаю рекомендується засівати 10% від всієї площі на три тижні раніше і ще 25% від всієї площі на два тижні раніше оптимального строку для даної місцевості. Таким чином, знижується ризик втрат від екстремальної посухи в період запилення [59].

Глибина загортання насіння для оптимальних умов (тепла, вологий ґрунт) - 5 см. При дуже ранній сівбі і достатній кількості вологи можна сіяти на глибину 1-2 см в розрахунку на те, що ґрунт там прогрівається швидше. При сухому ґрунті необхідно сіяти так, щоб насіння стикалося з його вологим шаром, тому глибина загортання насіння може досягати 8-10 см [57].

Густота посіву є індивідуальним фактором для кожного гібрида, загальних ґрунтово-кліматичних умов місцевості і особливостей року [57].

Кукурудза - просапна культура. У практиці відомо кілька способів посіву кукурудзи: квадратно-гніздовий, прямокутно-гніздовий, рядковий, пунктирний. [13, 57, 64].

Протягом багатьох років в нашій країні застосовувався квадратно-гніздовий посів кукурудзи з відстанню між гніздами 70x70 см. При всіх перевагах цього способу посіву, він відрізняється високою трудомісткістю і необхідністю застосування ручної праці при подальшому догляді за посівами.

В даний час поряд з відомою сівалкою СУПН-8 та її модифікаціями в сільськогосподарське виробництво надходять сівалки СТВ-107/2 «Лелека», СТВ-107/3 «Лелека», СКПП-12; СПК-8, СПКА-1 «Тана», СТВ-12, СТБК-16.

З імпортованих сівалок в даний час використовуються сівалки фірми "John Deer" (США), "Becker" (ФРН), а так само сівалки "Pneumasem-II" фірми "Nodet

Gougis" [3, 11, 23, 24, 25, 50, 37, 48 та ін.].

Як зазначалося вище, врожайність кукурудзи залежить від густоти сівби та площі живлення кожної рослини [42, 63].

Густота сівби рослин в рядку визначається рівномірністю розташування насіння в рядку, яке в свою чергу досягається правильним налаштуванням і регулюванням застосовуваних посівних агрегатів [6].

У зв'язку з цим, незважаючи на безліч моделей сівалок для обробітку просапних культур, актуальним був і залишається пошук раціональних схем і конструкцій висівних систем високої якості розподілу насіння просапних культур по площі живлення, який базується на основі теоретичних досліджень в цій області, а також існуючих конструкцій висівних апаратів пневматичних сівалок для дозованого точного висіву насіння різних культур.

1.2. Короткий огляд конструкцій висівних апаратів для однозернового висіву насіння просапних культур та шляхи їх вдосконалення

Для відбору із загальної маси певної кількості насіння і формування їх потоку із заданими параметрами служить висівний апарат.

Рівномірний розподіл насіння в рядку є одною з переваг або недоліків сівалки, а він в свою чергу залежить від ряду факторів, котрі визначають з яких є рівномірна подача насіння висівним апаратом [7, 8, 31].

В даний час існує безліч конструкцій висівних апаратів, тому в літературних джерелах опубліковано кілька класифікацій сівалок взагалі і просапних зокрема за різними ознаками. Всі сучасні просапні сівалки мають висівні апарати, що забезпечують однозернове або порційне дозування насіння.



Рисунок 1.3. Класифікація висівних апаратів

Бузенков В.Г. [13] апарати точного висіву для однозернового посіву насіння просапних культур розділив за принципом дії на пневматичні і механічні (рис. 1.3), а в роботі В.П. Чічкіна [18] апарати поділяються на чотири основні види: механічні, пневматичні, пневмомеханічна і гідравлічні. Механічні висівні апарати дуже різноманітні за конструкцією і за класифікацією В.П. Чічкіна діляться на: котушкові, чашкові, шнекові, човниково-штокові, вібраційні, відцентрові й ложкові, коміркові і з укладанням стрічки. Механічні апарати знайшли застосування на сівалках як зарубіжного, так і вітчизняного виробництва, зокрема «Глостер» (Англія), «Моноцентра» (Німеччина), «Масей Фергюсон» (США), ССТ-12 (Україна) та ін.

Механічні висівні апарати були першими апаратами точного висіву [26, б], а серед них найбільшого поширення набули комірково-дискові і комірково-стрічкові апарати.

Основним робочим органом дискового апарату є плоский диск 3 (рис. 1.4), на циліндричній поверхні якого розташовані один або кілька рядів комірок 2 [6]. У зоні бункера 1 насіння западає в комірку, при цьому зайве зчищається активними роликком 7.

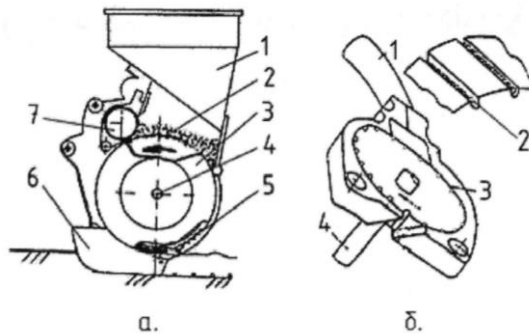


Рисунок 1.4. Схеми дискових висівних апаратів:

а - з горизонтальною віссю обертання; б – з похилою віссю обертання;  
 1 - бункер для насіння; 2 - комірка диска (паз); 3 - диск; 4 - вал;  
 5 - виштовхувач; 6 - сошник; 7 - ролик зняття зайвих насіння.

Його частота обертання в 3...4 рази більше швидкості обертання диска. У нижній частині обертового диска насіння випадає з комірок. Цьому сприяють виштовхувачі 5, встановлені в кільцеві канавки, що проходять через центри комірок по колу диска. Апарати такого типу бувають з горизонтальною (а), вертикальною або похилою (б) віссю обертання 4 [6].

Дискові апарати з горизонтальною віссю обертання використовуються на сівалках ССТ-12Б (Україна), "Моноцента" (Німеччина), Туше-Моно (Фінляндія), "Масей Фергюсон" (США), з похилою віссю - на сівалці «Гремор» (США), «Ебра» (Франція) [16].

Основним недоліком механічних висівних апаратів є те, що якість однозернового висіву насіння забезпечувалася ретельно калібруванням посівного матеріалу і використанням комплектів змінних дисків, параметри комірок яких відповідають розмірам насіння однієї з фракцій. Крім того, динамічна взаємодія насіння з робочими елементами висівного апарату (з відбивачами "зайвого" насіння і виштовхувачами насіння в сошник) при одночасному контактуванні з комірками висівного диска призводить до травмування насіння.

Всі перераховані недоліки були враховані при подальшому розвитку і вдосконаленні апаратів цього типу.

Так, Руденко Н.Е. і Кулаєв Є.В. [40] розробили механічний конусоїдальний апарат точного висіву насіння, який виключає пошкодження насіння, похиле розташування комірок сприяє кращому заповненню їх по одному насінню, видалення зайвих насінин відбувається за рахунок самоосипання останнього, в ньому так само відсутні відбивальні і виштовхувальні пристрої [4]. Однак, не дивлячись на всі переваги конусоїдального висівного апарату його немає в серійному виробництві (рис. 1.5).

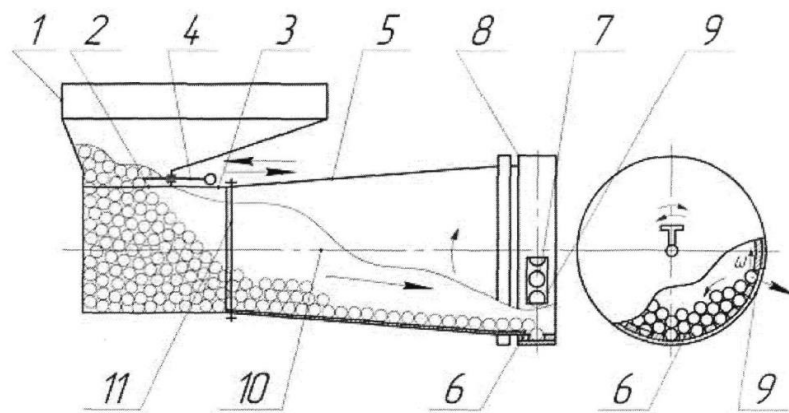


Рисунок 1.5. Схема роботи конусоїдального висівного апарату:

1 - бункер; 2 - вихідне вікно; 3 - циліндричний корпус; 4 - заслінка; 5 - конусний дозатор; 6 - висівне кільце; 7 - наскрізна комірка; 8 - кришка; 9 - паз; 10 - приводний вал; 11 - болт приводний.

Найбільш універсальні і ті, що забезпечують більш високу якість висіву насіння є пневматичні сівалки для просапних культур [24 та ін.], які останнім часом набули широкого поширення за кордоном і в нашій країні. Вони оснащені висівними апаратами, які використовують в процесі роботи пневматику у вигляді розрідження або надлишкового тиску. Крім того, з'явилися сівалки з висівними апаратами, які в залежності від ступеня використання пневматики в поєднанні з механічними елементами дозування займають широкий діапазон функціонування між механічними і пневматичними апаратами і тому отримали назву пневмомеханічних.

В даний час широко використовуються висівні апарати вакуумного типу, як найбільш універсальні і ті, що забезпечують високу якість висіву насіння. Вакуумні висівні апарати поділяються на дискові і барабанні. Більш широке поширення отримали дискові вакуумні апарати з розташуванням присмоктується отворів по окружності на торцевій площині дисків типу СУПН-8 (СУПН-8А, СУПН-8А-01) (рис. 1.6) [7]. Апарати такого типу встановлено на сівалках зарубіжного і російського виробництва: Optima (Норвегія), «Мультикорн», ED 602К (Німеччина) (рис. 1.10); «MaterMass», «Gaspardo» (Італія) (рис. 1.11); УПС-12, УПС-8, УПС-6 (рис. 1.12), СКПП-12 (Україна); СПК-8К, СПКА-1 «Тана» (рис. 1.13), СУПП-560, СТВ-12, СТВК-16, СТВ-107/2 «Лелека», СТВ-107/3 «Лелека» та ін. [3, 11, 23, 25, 26, 37, 48, 60, 61]. Висівні апарати цих просапних сівалок працюють за таким же принципом, як і апарат сівалок СУПН-8 (8А) і відрізняється тільки конструктивним виконанням деяких його елементів. Однак, загальною особливістю всіх висівних апаратів пневматичного типу є відсутність в їх конструкції насіннепроводів і вільний політ насіння після сходу його з висівного диска.

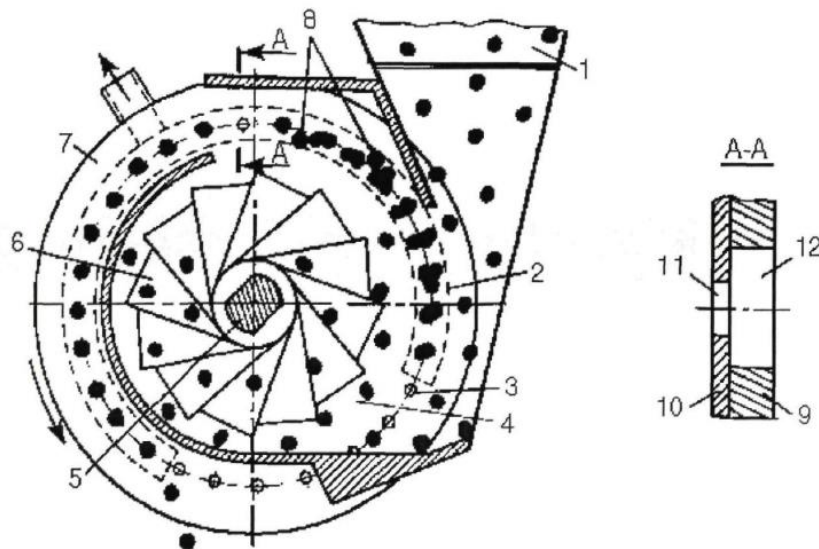


Рисунок 1.6. Висівний апарат сівалки СУПН-8А:

1 - бункер, 2 - вакуумна камера, 3 - комірка, 4 - насіннева камера, 5 - вал, 6 - гумові ворушили, 7 - висівний диск, 8 - штифт, 9 - основа, 10 - металева накладка, 11 - присмоктувальні отвори, 12 - просмоктувальні отвори.



Рисунок 1.7. Сівалка точного висіву ED 602K (Німеччина).



Рисунок 1.8. Посівна секція просапної сівалки «Gaspardo» (Італія).



Рисунок 1.9. Універсальна пневматична сівалка УПС-6.



Рисунок 1.10. Базова модель просапних сівалок «Тана» - СПКА-8.

Насіннепроводи використовуються в даний момент на зернових, овочевих рядових або на деяких просапних сівалках з централізованим висівом [13, 44, 51, 65]. Останні з перерахованих передбачають наявність розподільного пристрою і трубопроводів (армовані пластмасові і гладкі пластмасові) для транспортування насіння до сошників. Найбільш часто зустрічається у світовій практиці, що розподільником служить головка системи «Accord» (рис. 1.11). Для підвищення рівномірності розподілу насіння дослідники розміщують всередині нього різні конструктивні відбивні елементи.

У сівалках ССК-1, СКС-6А, СКС-6-10, НЕГЕ-80 застосовуються апарати,

що складаються з касетного завантажувального пристрою, конусного порційного апарату порційного висіву і відцентрового розподільника (рис. 1.12)

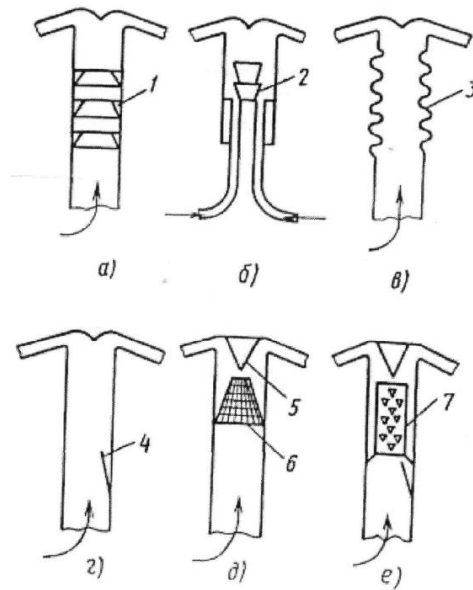


Рисунок 1.11. Вертикальні розподільні пристрої пневматичних сівалок:

1 - конічні кільця, 2 - конічні турбулізатори; 3 - гофровані ділянки; 4 - спрямовувач; 5 - конічний подільник; 6, 7 - сітчастий і трубчастий централізатори.

До недоліків таких висівних апаратів можна віднести великі енергоємності, травматизм посівного матеріалу через підвищений механічний вплив, недостатньо рівномірний розподіл по перетину трубопроводу, і відсутність можливості здійснення однозернового висіву.

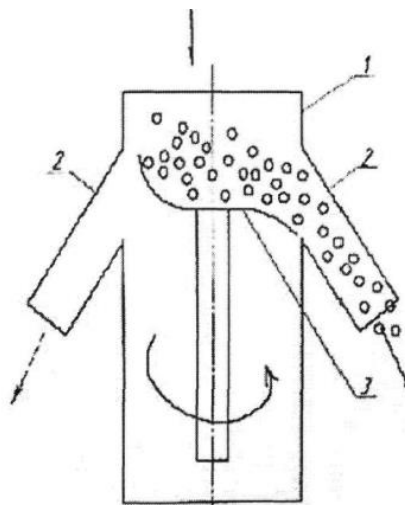


Рисунок 1.12. Схема відцентрового розподільника сівалки СКС-6-10:

1 - центральний розподільник; 2 - насіннєпроводи; 3 - розкидач.

У сівалки точного висіву подача насіння від висівних апаратів до сошників здійснюється переважно шляхом вільного падіння. У деяких конструкціях для подачі насіння в борозну застосовують різного роду спрямовувачі (скатні поверхні).

В барабанному висівному апараті (рис. 1.13) в якості спрямовувача використовується трубчастий скидач насіння. При простоті конструкції недоліком його є велика висота падіння насіння, що позначається на рівномірності розподілу його уздовж рядка, тому потрібне сортування насіння за показниками парусності.

Апарати надлишкового тиску (пневмонагнітальні) використовуються на зарубіжних сівалках "Сайкл" (США); "Аеромат" (ФРН); "Аеромісттик" (Франція) [25], а також на сівалках фірм Kari Becker, International Harvester, Cyclo, Allis-Chaimers (США), Riviere-Casalis (Франція) та ін.. [11, 25]. Апарати надлишкового тиску підрозділяють на дискові і барабанні, а барабанні - на подаючі насіння зовні і всередині барабана.

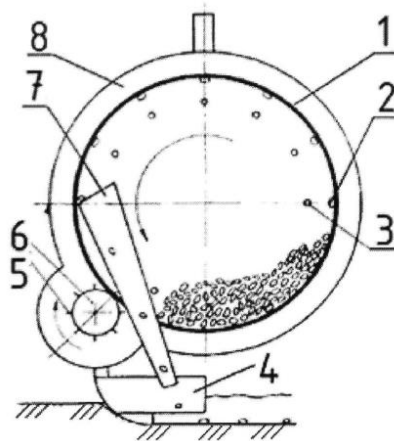


Рисунок 1.13. Схема пневматичного висівного апарату барабанного типу:

1 - висівний барабан; 2 - насіння, присмоктане до отвору; 3 - пальці-ворушилки; 4 - сошник; 5 - голки ролика; 6 - ролик очищення отворів; 7 - трубчастий скидач насіння; 8 - вакуумна камера.

Лобачевским П.Я., Бондаренко П.А., Реуцьким А.С. [3] був розроблений пневматичний висівний апарат надлишкового тиску ІАП-2 (рис. 1.14) з

примусовим транспортуванням насіння до борозни по насіннепроводу і викиданням насіння в борозну з певною швидкістю і напрямком. Насіння забирається з дозувальних елементів потоком повітря. При проході дозувальних елементів біля каналу 9 з них потоком повітря видаляється зайве насіння. Забірний пристрій розташований на концентричному колі у верхній частині [8]. Конструкція висівного апарату забезпечує заповнення дозувальних елементів при високих лінійних швидкостях їх руху, якісне видалення зайвого насіння і рівномірність подачі в насіннепровід. До недоліків цього апарату можна віднести необхідність виготовлення додаткових елементів конструкції, тобто виготовлення нових апаратів, неможливість переобладнати наявні в господарствах пневматичні висівні апарати, а також підвищена витрата повітря за рахунок різного роду витоків.

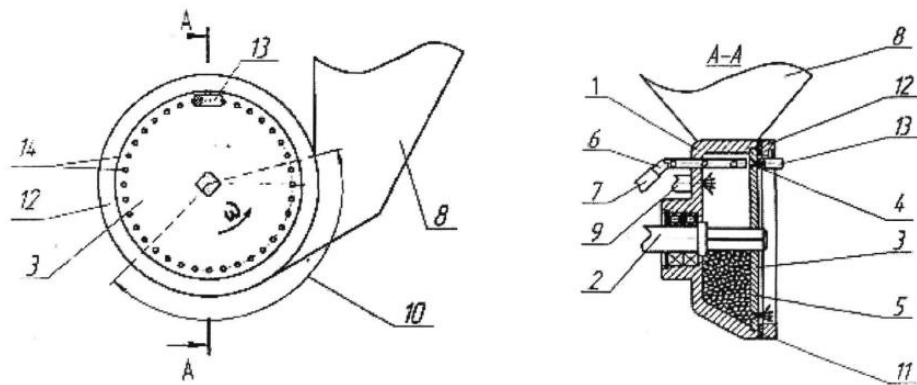


Рисунок 1.14. Схема пневматичного висівного апарату надлишкового тиску:

1 - корпус, 2 - вал, 3 - висівний диск, 4 - дозувальні елементи, 5 - насіннева камера, 6 - трубка забірного пристрою насіння, 7 - пневмонасіннепровід; 8 - бункер, 9 - канал, 10 прокладка, 11 – кришка.

Сівалки точного висіву, такі як MF555 фірми Massey Ferguson (рис. 1.15), Тс-М800 фірми MaterMass (рис. 1.16), ТС G фірми «Gaspardo» (Італія), MaxEmergePlus фірми JohnDeere (Німеччина) (рис. 1.17), у яких дискові пневматичні висівні апарати розташовані досить високо (на рівні рами), мають С-подібну скатну поверхню для зменшення негативного впливу висоти падіння

насіння на рівномірність подачі його в борозну.



Рисунок 1.15. Сівалка точного висіву MF 555 фірми Massey Ferguson (США).

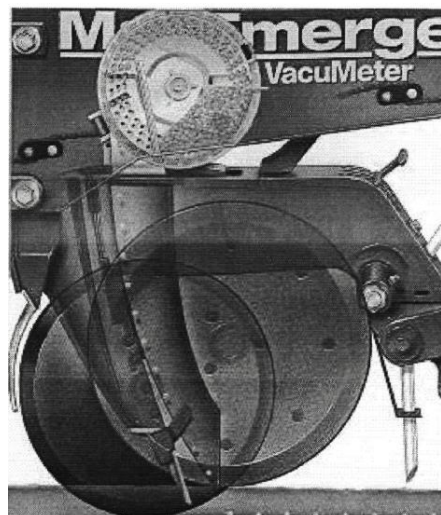


Рисунок 1.16. Сівалка точного висіву MaxEmergePlus фірми JohnDeere (Німеччина).

Вченими Лобачевським П.Я., Реуцьким А.С., Хижняком В.І. та ін. [5] запропонована конструкція сошника зі спрямовувачем насіння, що має форму брахістохрони (кривої якнайшвидшого спуску), що дозволяє здійснювати транспортування насіння від висівного диска до дна борозни (рис. 1.18).

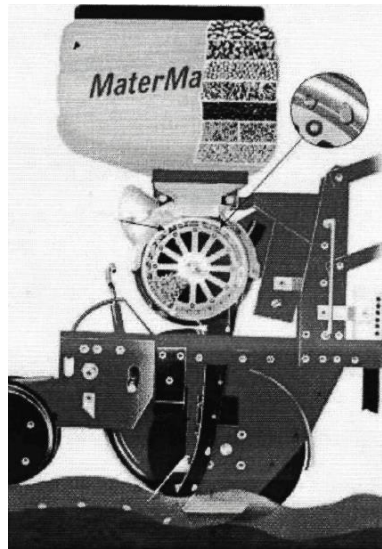


Рисунок 1.17. Сівалка точного висіву Тс-М фірми MaterMass (Італія).

Найбільш перспективним напрямком у поліпшенні якості висіву насіння просапних культур сівалками точного висіву (ED 602К (Німеччина), «Gaspardo» (Італія); УПС-12, УПС-8, УПС-6, СУПН-8А, СУПН-8А-01, СУПН -8А-02, СУПН-6А, СУПН-6А-01 і СУПН-6А-02, СКИП-12 (Україна); СГЖ-8, СПКА-1 «Тана», СУПН-560, СТВ-12, СПБ-8К , СТВК-16, СТВ-107/2 «Лелека», СТВ-107/3 «Лелека» та ін.) є розробка спеціальних, додаткових пристроїв у висівному апараті, які забезпечують рух насіння по заданій траєкторії і дозволяють регулювати швидкість насіння на виході з цих пристроїв [3, 4].

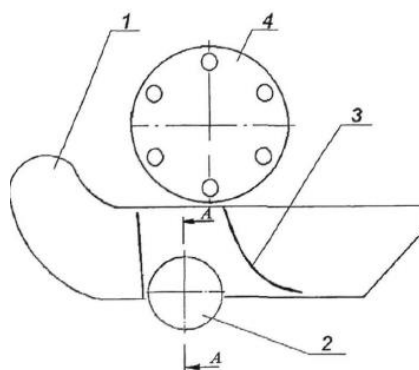


Рисунок 1.18. Схема висівного апарату зі спрямовувачем:

1 - наральник, 2 ущільнювач, 3 - спрямовувач насіння, 4 - висівний апарат.

Недоліками даного винаходу є нерівномірність розподілу насіння різних

просапних культур внаслідок відсутності можливості регулювання криволінійного спрямовувача та складність конструкції.

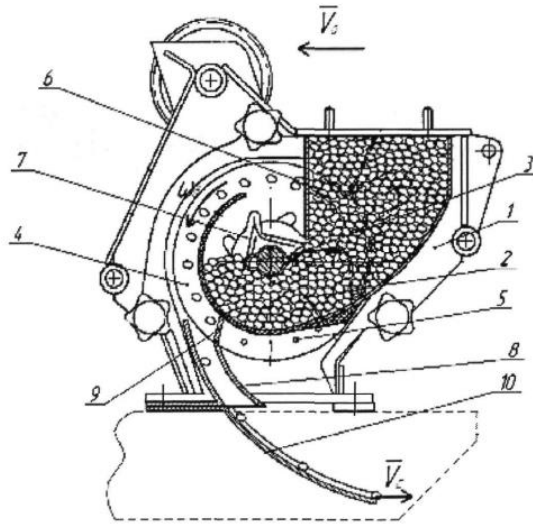


Рисунок 1.19. Схема пневматичного висівного апарату [49]:

1 - корпус, 2 - забірна камера, 3 - насіннева камера, 4 - висівний диск, 5 - присмоктувальні отвори, 6 - пластинчастий відбивач, 7 - ворушилка, 8 - скидач-спрямовувач; 9 - скидач, 10 - спрямовувач.

На основі аналізу існуючих конструкцій сівалок точного висіву і патентного пошуку нами розроблений висівний апарат, робота якого здійснюється наступним чином: насіння (рис. 1.19) з бункера (на рисунку не показаний) надходить в забірну камеру 2 корпусу 1 висівного апарату, з якої під дією розрідження, створюваного у вакуумній камері (на рисунку не показана), присмоктується до присмоктувальних отворів 5 висівного диска 4.

Обертаючись разом з висівним диском 4, насіння із забірної камери 2 переноситься до пластинчастого відбивача 6, під дією якого «зайве» присмоктане насіння повертається назад в забірну камеру 2. Далі насіння транспортується висівним диском 4 в зону скидання, де під дію скидача 9 знімається з висівного диска 4 і направляється в корпус 8 скидача-спрямовувача, після чого зісковзує в спрямовувач 10 і далі по його поверхні спускається і укладається в борозну. При цьому скидач 9 (рисунок) прикріплений до корпусу 8 скидача-спрямовувача шарнірно з можливістю зміни кута нахилу до горизонту. Оскільки насіння різних просапних культур

має відмінні фізико-механічні властивості, то зміну швидкості насіння на виході зі спрямовувача можна домогтися змінними криволінійними спрямовувачами з різним радіусом округлення.

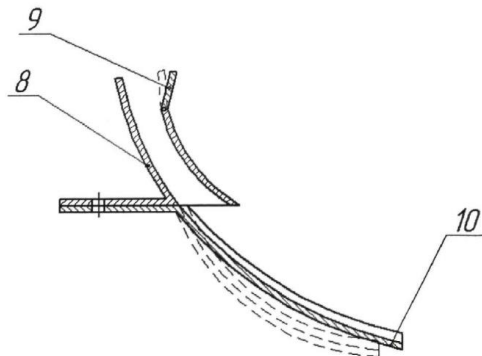


Рисунок 1.20. Схема спрямовувача насіння:

8 - скидач-спрямовувач, 9 - скидач, 10 – спрямовувач.

Основною кінематичною умовою найменшого розсіювання насіння в поздовжньому напрямку є рівність горизонтальної складової швидкості насіння в момент викиду і швидкості руху агрегату ( $v_{ce} = v_a$ ). При цій умові абсолютна швидкість насіння наближається до нуля, і його падіння відбувається по траєкторії, близькій до вертикалі. Запропонована конструкція апарату (рис. 1.20) дозволяє змінити траєкторію руху насіння в сторону протилежну руху агрегату, але не забезпечується умова  $v_{ce} = v_a$ . Внаслідок чого погіршується рівномірність розподілу насіння по довжині і ширині рядка.

Усунути цей недолік можна вдосконаленням технологічного процесу висіву просапних культур пневматичними сівалками шляхом установки в них насіннєпроводів з прискорювачем, що забезпечують рух в них насіння по заданій траєкторії і з необхідною швидкістю. Конструкція і опис даного апарату представлені в розділі 2.1 цієї роботи.

### 1.3. Висновки

На основі проведеного огляду конструкцій висівних апаратів для однозернового висіву та аналізу робіт з дослідження процесу однозернового

висіву насіння просапних культур зроблені наступні висновки.

1. Найбільш поширеним для висіву насіння кукурудзи та інших просапних культур є пневматичний висівний апарат типу СУПН з робочим органом у вигляді диска з горизонтальною віссю обертання і присмоктувальними наскрізними отворами, розташованими рівномірно по окружності диска.

2. Існуючі конструкції робочих органів серійних пневматичних сівалок не дозволяють змінювати напрямок руху насіння після сходу його з висівного диска і не пристосовані змінювати величину їх швидкості незалежно від швидкості руху агрегату.

3. Відсутність у сівалок типу СУПН насіннепроводів і вільного польоту насіння від висівного диска до дна борозни призводить до погіршення розподілу насіння по дну борозни в поздовжньому і поперечному напрямках.

## 2. Теоретичні дослідження руху насіння в насіннепроводах висівних апаратів

У серійних сівалках типу СУПН відсутні насіннепроводи і насіння, що скидається з дисків висівних апаратів, вільно падає на дно борозни з висоти  $h$ , яка визначена конструкцією сівалки та її сошника. Багато дослідників [7, 9, 12, 14], котрі займаються удосконаленням пневматичних висівних апаратів, вживають поняття сівалки точного висіву, маючи на увазі при цьому рівномірне однозернове дозування насіння висівним апаратом, і тим самим беруть нічим необґрунтоване припущення, що насіння, котре виходить з висівного апарату з певною рівномірністю, з такою ж рівномірністю укладається на дно посівної борозни.

У реальному процесі на рівномірність розподілу насіння в борозні впливають не тільки точність дозування насіння висівним апаратом, а й інші фактори, які проявляються після виходу насіння з висівного апарату, зокрема удар насіння об дно борозни.

Для визначення закономірностей, що впливають на безударне укладання насіння на дно борозни, необхідні дослідження способи управління процесом доставки насіння на дно борозни в просапних сівалках (типу СУПН).

### 2.1. Аналітичні дослідження способів управління процесом доставки насіння на дно борозни в просапних сівалках

Для розгляду кінематики процесу висіву насіння висівним диском просапної сівалки приймемо ряд припущень, що дозволяють побудувати модель процесу руху насіння від висівного диска до дна борозни:

1. Сходження насіння з висівного диска відбувається в момент припинення дії на нього вакууму і не залежить від форми і розміру насіння.

2. Відрив насіння від висівного диска відбувається без впливу комірки диска.

3. Рух насіння з моменту відриву від висівного диска до моменту торкання його дна борозни відбувається без торкання стінок сошника і без впливу опору повітря.

4. На схемах насіння приймається за матеріальну точку певної маси.

Насіння, що сходить з диска висівного апарату, з моменту сходу його з диска до моменту приземлення на дно борозни знаходиться в стані вільного польоту, схема якого зображена на рисунку 2.1 при швидкості агрегату  $v_a$ .

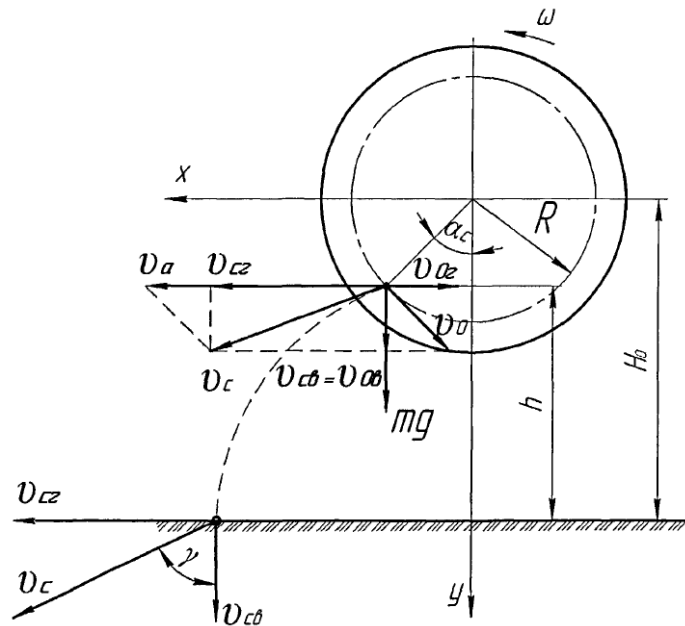


Рисунок 2.1. Схема польоту насіння в просапних сівалках (типу СУПН).

Висота падіння насіння  $h$  може бути визначена за виразом:

$$h = H_0 - R \cos \alpha_c, \quad (2.1)$$

де  $H_0$  - висота осі висівного апарату від дна борозни, м;

$R$  - радіус видалення присмоктувальних отворів висівного диска від його центру, м;

$\alpha_c$  - кут відхилення точки сходу насіння від вертикалі.

У момент сходу насіння з висівного диска воно має лінійну швидкість  $v_0$ , яка визначається за відомим виразом:

$$v_0 = \omega \cdot R, \quad (2.2)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість висівного диска, рад/с.

Лінійну швидкість насіння в момент його сходження з висівного диска можна розкласти на горизонтальну  $v_{0z}$  і вертикальну  $v_{0e}$  складові через функцію кут сходу  $\alpha_c$ :

$$v_{0z} = \omega \cdot R \cdot \cos \alpha_c, \quad (2.3)$$

$$v_{0e} = \omega \cdot R \cdot \sin \alpha_c, \quad (2.4)$$

Якщо не враховувати опір повітря, то висота падіння насіння до дна борозни визначається з виразу:

$$h = \omega R \cdot \sin \alpha_c \cdot t + \frac{gt^2}{2}. \quad (2.5)$$

Тоді, час падіння насіння  $t$  визначається за формулою:

$$t = \frac{-\omega R \cdot \sin \alpha_c + \sqrt{\omega^2 \cdot R^2 \cdot \sin^2 \alpha_c + 2gh}}{g}. \quad (2.6)$$

Якщо при польоті насіння не враховувати опір повітря, то воно в момент зіткнення з дном борозни матиме швидкість  $v_c$ , горизонтальна і вертикальна складові якої визначаються за формулами:

$$v_{cz} = v_a - \omega \cdot R \cdot \cos \alpha_c, \quad (2.7)$$

$$v_{ce} = \omega \cdot R \cdot \sin \alpha_c + gt. \quad (2.8)$$

Підставляючи в формулу (2.8) замість  $t$  його вираз (2.6), після деяких перетворень отримаємо

$$v_{ce} = \sqrt{\omega^2 \cdot R^2 \cdot \sin^2 \alpha_c + 2gh}. \quad (2.9)$$

Величина швидкості падіння насіння  $v_c$  в момент удару об дно борозни визначається за формулою:

$$v_c = \sqrt{v_{cz}^2 + v_{ce}^2} = \sqrt{v_a^2 - 2\omega R \cdot \cos \alpha_c \cdot v_a + 2gh + \omega^2 \cdot R^2}. \quad (2.10)$$

Кутова швидкість висівного диска взаємопов'язана зі швидкістю посівного агрегату наступним виразом [31]:

$$\omega = C \cdot v_a, \quad (2.11)$$

де  $C = 2\pi/l_c z$  - постійна, м;

$l_c$  - крок посіву насіння, м;

$z$  - число висівних комірок диска, шт.

Підставивши у формулу (2.10) вираз (2.11) і після деяких математичних перетворень величина швидкості падіння насіння  $v_c$  в момент удару об дно борозни визначиться за формулою:

$$v_c = \sqrt{v_a^2 - Cv_a^2 R \cdot (2 \cos \alpha_c + CR) + 2gh}. \quad (2.12)$$

Кут падіння насіння  $\gamma$  визначається за виразом:

$$\gamma = \arctg \left( \frac{v_a \cdot (1 - CR \cos \alpha_c)}{\sqrt{Cv_a^2 R^2 \cdot \sin^2 \alpha_c + 2gh}} \right). \quad (2.13)$$

Графіки залежності величини швидкості і кута падіння насіння в момент удару його об дно борозни, побудовані за рівняннями (2.12) і (2.13), представлені на рисунку 2.2.

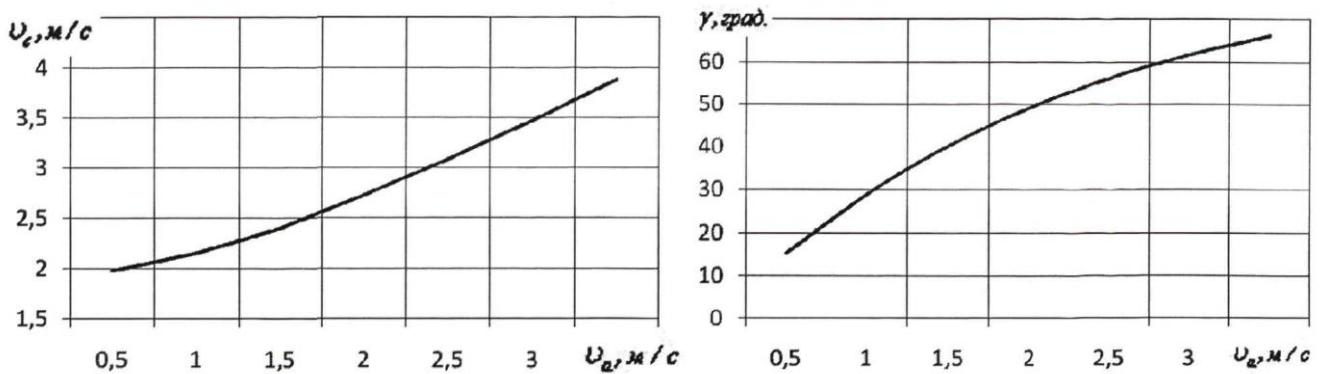


Рисунок 2.2. Залежності величини швидкості  $v_c$  і кута падіння  $\gamma$  насіння на дно борозни від швидкості посівного агрегату  $v_a$ .

Аналіз виразів (2.7), (2.9) і графіків на рисунку 2.2 показує, що параметри  $\alpha_c$ ,  $R$  і  $h$  задані конструктивно і є величинами постійними. Змінними є параметри  $v_a$  і  $\omega$ . Діапазон зміни робочої швидкості посівного агрегату знаходиться в межах 7...12 км/год або 1,9...3,3 м/с. Кутова швидкість висівного диска залежить від норми висіву і швидкості посівного агрегату. При нормах висіву просапної культури (кукурудзи) 3...5 шт./м і швидкості сівалки 1,9...3,3 м/с діапазон зміни  $\omega$  складе 1,6...4,8 рад/с. Визначимо діапазон числових значень швидкостей насіння  $v_{ce}$  і  $v_{cv}$  в момент його зіткнення з дном борозни конкретно для сівалки СУПН-8, у якій  $\alpha_c = 45^\circ$  і  $h = 188$  мм:

$$v_{cz} = v_a - \omega R \cdot \cos \alpha_c = (1,9...3,3) - (1,6...4,8) \cdot 0,06 \frac{\sqrt{2}}{2} =$$

$$= (1,9...3,3) - (0,07...0,2) = 1,7...3,2 \text{ м/с};$$

$$v_{ca} = \sqrt{\omega^2 R^2 \sin^2 \alpha_c + 2gh} = \sqrt{(1,6...3,3)^2 0,06^2 \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 + 2 \cdot 9,8 \cdot 0,188} = 1,921...1,925 \text{ м/с}.$$

За цими даними можна зробити наступні висновки:

- вертикальна складова швидкості насіння в момент падіння його на дно борозни практично не залежить від кутової швидкості посівного диска, а залежить тільки від висоти падіння і для сівалки С ПН становить близько 2 м/с;
- горизонтальна складова швидкості насіння в момент падіння його на дно борозни, в основному, залежить від швидкості сівалки, кутова швидкість диска  $\omega$  зменшує горизонтальну складову швидкості насіння, але не більше ніж на 10%.

На основі отриманих даних видно, що в момент зіткнення насіння з дном борозни має місце косий удар його об ґрунт зі швидкістю 2,6...3,8 м/с і кутом падіння ( $45^\circ...55^\circ$ ) відносно вертикалі. Для вивчення поведінки насіння після удару його об ґрунт при даних значеннях швидкості і кутах падіння, потрібні додаткові експериментальні дослідження.

Для виключення явища відскоку насіння від дна борозни необхідно проаналізувати шляхи зменшення швидкості насіння при сходженні його з висівного диска і зменшення (наближення до нуля) кута падіння насіння  $\gamma$ .

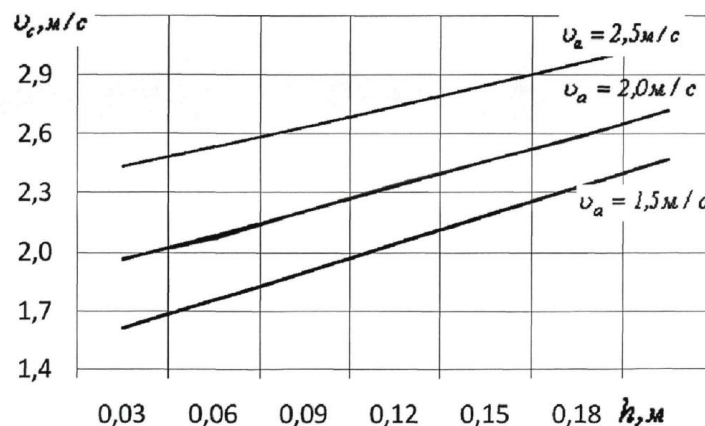


Рисунок 2.3. Залежність величини швидкості насіння і від висоти падіння  $h$  при різній швидкості посівного агрегату  $v_a$ .

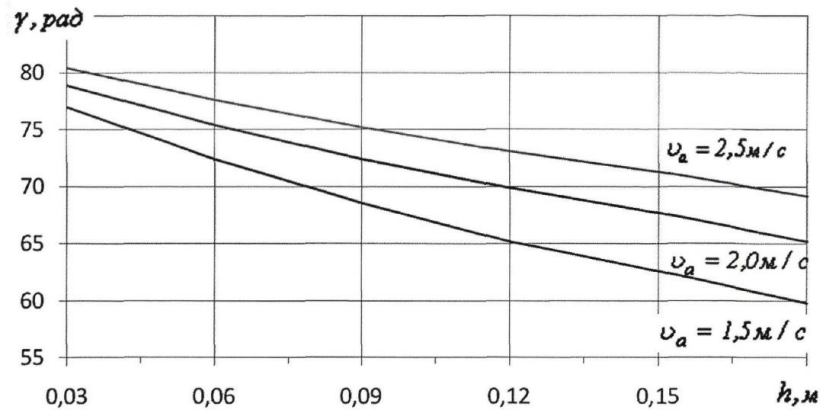


Рисунок 2.4. Залежність кута падіння  $\gamma$  від висоти падіння  $h$  при різних швидкості посівного агрегату  $v_a$ .

Аналіз виразів (2.12), (2.13) і графіків (рисунки 2.3; 2.4) показав, що при інших рівних умовах домогтися зниження швидкості насіння  $v_c$  можна зменшенням висоти падіння  $h$ , однак значення кута падіння у насіння в борозну при цьому збільшується.

Зміна висоти падіння насіння конструктивно обмежена, тому для зменшення висоти їх падіння на дно борозни в конструкцію серійного пневматичного висівного апарату необхідно ввести додатковий елемент (насіннепровід), при цьому висота установки осі висівного диска залишиться незмінною.

## 2.2. Розробка функціональної схеми і конструкції висівного апарату з насіннепроводом

Аналіз отриманих залежностей процесу транспортування насіння на дно борозни дозволяє зробити припущення, що усунути недоліки (поздовжній і поперечний розкид насіння в борозні, їх відскокування від дна борозни і інверсію), що виникають при вільному падінні насіння можна, якщо в технологічний ланцюг руху насіння після висівного диска включити насіннепровід, який дозволить насінню після висівного диска переміщатися по заданій траєкторії та із заданою швидкістю. Ідеальним можна вважати

насіннєспровод, який надавав би виходячому з нього насінню швидкість, рівну за величиною швидкості сівалки і спрямовану в бік, зворотний руху посівного агрегату. За такої умови швидкість насіння відносно ґрунту дорівнює нулю і насіння укладається на дно борозни в ідеальних умовах [13, 20, 21, 33].

За даними розділу 2.1 цієї роботи при будь-якій конструкції насіннєспровода [49] швидкість насіння на виході з нього не може перевищувати 1,9 м/с, отже, для виконання умови рівності швидкості насіння і швидкості сівалки, яка може досягати значень 3...3,5 м/с, необхідно мати в конструкції насіннєспровода своєрідний прискорювач насіння, який забезпечив би прискорення руху насіння в насіннєспровід до необхідних значень.

В результаті пошуку найбільш раціональних схем конструкції насіннєспровода, що забезпечують виконання поставлених умов і доступних для їх реалізації в конструкції висівного апарату серійної сівалки обрана схема висівного апарату, представлена на рисунку 2.5.

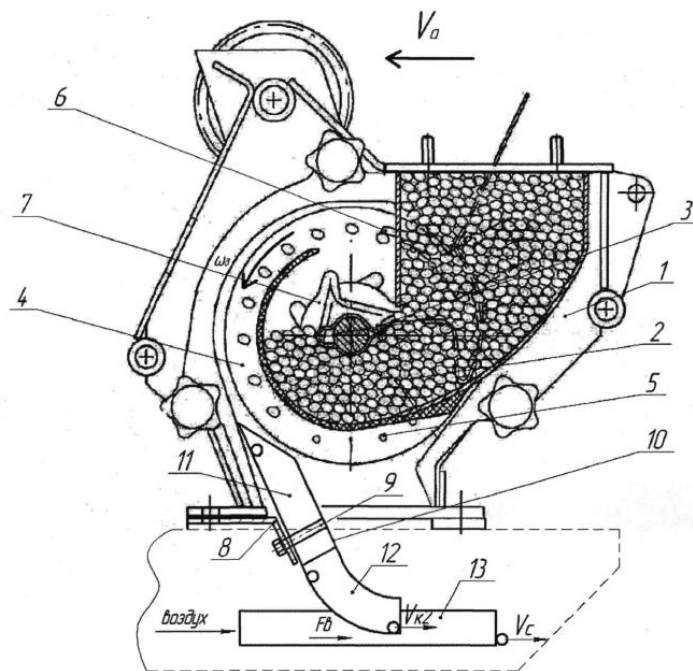


Рисунок 2.5. Схема вдосконаленого висівного апарату з насіннєспроводом:

1 - корпус, 2 - камера насіннева, 3 - вал, 4 - диск висівний, 5 - отвори присмоктувальні, 6 - пластинчастий відбивач, 7 - ворушилка, 8 - кронштейн, 9 - хомут, 10 - насіннєспровод, 11 - прямолінійна ділянка I насіннєспровода, 12 - криволінійна ділянка; 11,13 - прискорювальна ділянку III насіннєспровода.

Насіннепровід (рис. 2.6) являє собою трубку 1 круглого перетину, яка кріпиться до висівних апаратів через кронштейн 2 хомутом 3. Насіннепровід має три ділянки: прямолінійну I, криволінійну II і прискорювальну III. На ділянці I насіння сходить з висівного диска та укладається на жолобоподібну внутрішню поверхню насіннепровода і ковзає по ньому як по похилій площині до ділянки II. На ділянці II насіння рухається по криволінійній поверхні постійного радіусу до тих пір, поки вектор швидкості не набуває горизонтального напрямку. На ділянці III насіння горизонтально рухається за допомогою повітряного потоку та розганяється до швидкості рівною за величиною швидкості посівного агрегату і тим самим забезпечується нульова швидкість насіння відносно ґрунту в момент торкання їм борозни.

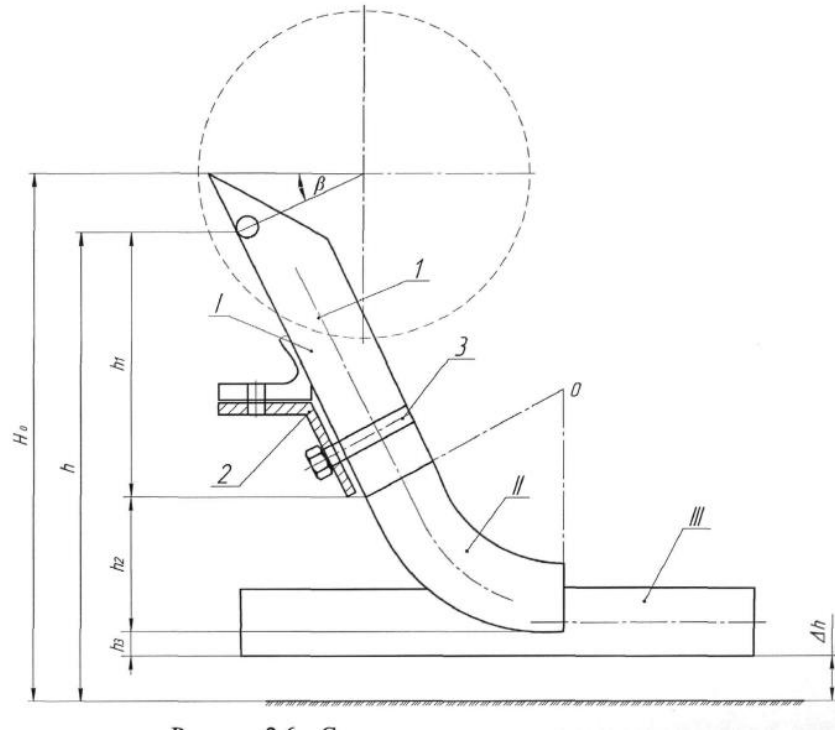


Рисунок 2.6. Схема експериментального насіннепровода пневматичної сівалки СУПН-8А.

Геометричні параметри насіннепровода по його ділянках підібрані розрахунково-конструктивним шляхом, виходячи з можливостей вільного простору під серійним висівним апаратом сівалки, використовуваного для насіннепровода, і реально допустимих значень параметрів, що входять в

розрахункові формули.

2.3. Дослідження процесів руху насіння по насіннепроводу вдосконаленого висівного апарату

Теоретичні дослідження процесів переміщення насіння, що відбувається в сівалках, як правило, починаються зі створення моделі досліджуваного процесу, моделі висівного апарату, а також прийняття ряду припущень і умов, що спрощують процес дослідження та математичного його опису без серйозного спотворення реальної дійсності.

#### 2.3.1. Вибір моделі сипучого тіла посівного матеріалу.

У пневматичному висівному апараті відбуваються складні взаємодії, що не піддаються суворому математичному опису, в тому числі і рух насіння посівного матеріалу з експериментального насіннепроводу, тому при описі цього процесу нами використана модель сипучого тіла, запропонована професором Л.В. Гячевим [27] і розвинена професором В.А. Богомягков [10].

За їхніми даними обрана модель, котра характеризується наступними припущеннями:

1. Сипуче тіло посівного матеріалу являє собою сукупність однакових абсолютно твердих кульок з деяким постійним кутом укладання в об'ємі насінневої камери і бункера.

2. Сили внутрішнього тертя між насінням і сили зовнішнього тертя насіння по поверхні робочих елементів дозувального пристрою пропорційні відповідним нормальним силам (закон Кулона).

3. В процесі руху насіння по поверхнях робочих елементів дозувального пристрою або відносно один одного обертання їх відсутнє.

4. Винесене диском з насінневої камери насіння розглядається як тіло, на яке діє система сил.

### 2.3.2. Розробка моделі та аналіз процесу руху насіння по насіннепроводу.

У даній роботі досліджується два варіанти конструктивних схем насіннепровода: перший - без прискорювача насіння, другий - з прискорювачем. Перший варіант застосуємо для сівалок з низькими робочими швидкостями (до 1,5 м/с). При швидкостях посіву більше 1,5 м/с рекомендується використовувати насіннепроводи з пневматичним прискорювачем насіння.

Процес руху насіння по насіннепроводу здійснюється наступним чином. Насіння, що знаходиться в комірці висівного диска, в момент припинення вакууму сходить з диска і під дією сили тяжіння і початкової швидкості, доданої йому диском, потрапляє в простір, утворений диском і насіннепроводом.

Точка скидання насіння з висівного диска підібрана таким чином, щоб в момент сходу з диска насіння торкалося внутрішньої поверхні насіннепровода. У цьому випадку воно без рикошету укладається на стінку насіннепровода на ділянці II (рис. 2.5) і ковзає по його внутрішній поверхні, нарощуючи швидкість згідно із законом вільного падіння тіл. При русі насіння по внутрішній поверхні насіннепровода виникає гальмівна сила тертя насіння об насіннепровід, величина якої визначається масою насіння, коефіцієнтом тертя насіння об матеріал насіннепровода і кутом ухилу насіннепровода відносно вертикалі.

На ділянці II насіннепровода (рис. 2.6) насіння ковзає по криволінійній внутрішній поверхні насіннепровода з радіусом кривизни  $\rho$ , виникаюча при цьому відцентрова сила збільшує силу тиску насіння на поверхню насіннепровода, а, отже, збільшує і силу тертя об насіннепровід. При русі насіння по ділянці II насіннепровода вектор швидкості змінює свій напрямок відносно вектора швидкості на ділянці I і в кінці ділянки II вектор швидкості спрямований горизонтально в бік, протилежний руху посівного агрегату. При русі насіння по насіннепроводу крім сил тертя йому перешкоджає також опір повітря, який залежить від швидкості руху насіння і коефіцієнта парусності.

Аналітичні дослідження руху насіння по насіннепроводу зводиться до розрахунку швидкості насіння на виході з насіннепроводу, пошуку аналітичних виразів для її визначення, розрахунку фактичних величин цієї швидкості для сівалки СУПН та аналізу отриманих результатів.

Для насіннепроводу без прискорювача насіння, що складається з двох ділянок (I і II), шуканим параметром є швидкість насіння в кінці ділянки II насіннепроводу, а для насіннепроводу з прискорювачем насіння шуканим параметром є швидкість насіння на виході його з прискорювача.

Для вирішення першого завдання використовуємо закон збереження енергії, згідно з яким енергія насіння на початку руху його по насіннепроводу дорівнює енергії насіння на виході з насіннепроводу плюс втрати енергії насіння в процесі руху його по насіннепроводу.

Енергія насіння на початку руху його по поверхні насіннепроводу складається з потенційної енергії насіння  $E_{n0}$ , розташованого на висоті  $h$  від дна борозни, і кінетичної енергії  $E_{к0}$  насіння, що сходить з диска, котрий обертається зі швидкістю  $v_0$ .

На виході з насіннепроводу насіння набуває кінцеву швидкість горизонтального напрямку і має: кінетичну енергію  $E_{кк}$  і потенційною енергію  $E_{mт}$ . При русі його по поверхні насіннепроводу частина енергії витрачається на роботу сил тертя насіння об поверхню насіннепроводу  $A_{mт}$  і на роботу сил опору повітря  $A_{св}$ .

Закон збереження енергії насіння, що рухається по насіннепроводу, описується рівнянням:

$$E_{n0} + E_{к0} = E_{nл} + E_{кк} + A_{mт} + A_{св} . \quad (2.12)$$

Він справедливий для будь-якої ділянки насіннепроводу, при цьому кінцеві значення кінематичної ( $E_{к}$ ) і потенційної ( $E_{n}$ ) енергії попереднього ділянки є початковими значеннями цих показників наступної ділянки. Рівняння енергетичного балансу рухомого по насіннепроводу насіння дозволяє послідовно визначати швидкість на різних ділянках і, в кінцевому рахунку, на виході його з насіннепроводу .

На ділянці I насіннепровода насіння, що зійшло з висівного диска зі швидкістю  $v_0$  під кутом  $\beta_1$  до вертикалі, потрапляє в насіннепровід, укладається на жолобоподібну внутрішню поверхню насіннепровода і під дією власної ваги  $mg$  і початкової швидкості  $v_0$  ковзає по цій поверхні набуваючи в кінці ділянки швидкість  $v_{к1}$  (рисунок 2.7).

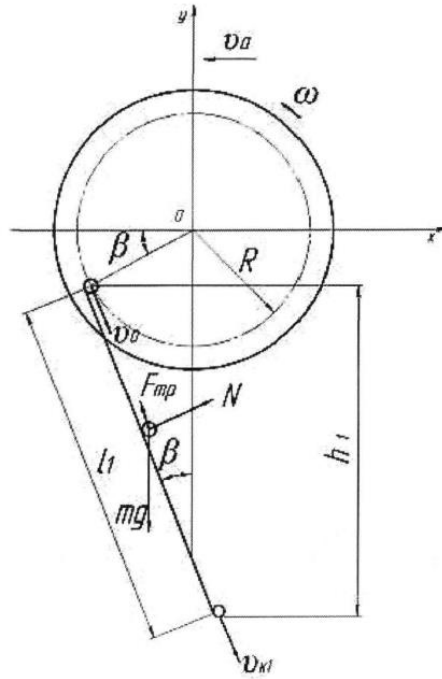


Рисунок 2.7. Схема руху насіння по ділянці I насіннепровода.

Позначивши через  $\Delta E_n$  різницю потенційних енергій насіння спочатку ділянки  $E_{n0}$  і в кінці  $E_{nk}$  отримаємо рівняння енергетичного балансу для ділянки I насіннепровода.

$$E_{кк1} + E_{к0} - E_{n1} + A_{мп1} + A_{св1} = 0. \quad (2.13)$$

Розглянемо кожен зі складових рівняння (2.12) окремо.

$$E_{кк1} = \frac{mv_{к1}^2}{2}, \quad (2.14)$$

де  $m$  - маса насіння, кг;

$v_{к1}$  - швидкість насіння в кінці ділянки I, м/с.

$$\Delta E_{n1} = mg \cdot h_1, \quad (2.15)$$

де  $h_1$  - різниця геодезичних рівнів початку і кінця ділянки I (рис. 2.7), м;

$g$  - швидкість вільного падіння, м/с.

$$E_{\kappa 0} = \frac{m v_0^2}{2}, \quad (2.16)$$

де  $v_0$  - швидкість насіння на початку ділянки I, м/с.

Параметр  $v_0$  визначається швидкістю обертання висівного диска апарату  $\omega$  і радіусом розміщення присмоктувальних отворів диска від його центру  $R$

$$v_0 = \omega \cdot R. \quad (2.17)$$

Робота сил тертя насіння об поверхню насіннепровода буде:

$$A_{mp1} = F_{mp} \cdot l_1, \quad (2.18)$$

де  $F_{mp}$  - сила тертя насіння об поверхню на ділянці 1, Н;

$l_1$  - довжина ділянки I насіннепровода (рис. 2.7), м.

За рисунком 2.7:

$$l_1 = \frac{h_1}{\cos \beta},$$

$$\text{тоді} \quad A_{mp} = f \cdot mg \cdot \sin \beta \cdot l_1 = f \cdot mg \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot h_1, \quad (2.19)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя насіння по насіннепроводу.

Робота на подолання сил опору повітря при русі насіння в повітряному середовищі залежить від аеродинамічних властивостей посівного матеріалу і визначається за виразом:

$$A_{ce1} = F_{ce1} \cdot l_1 = \frac{F_{ce1} \cdot h_1}{\cos \beta}. \quad (2.20)$$

У досліджуваному процесі сила опору повітря  $F_{ce1}$  буде:

$$F_{ce1} = m \cdot K_n \cdot \left( \frac{v_0 + v_{\kappa 1}}{2} \right)^2, \quad (2.21)$$

де  $K_n$  - коефіцієнт парусності насіння,  $\text{м}^{-1}$ .

Коефіцієнт парусності  $K_n$  пов'язаний зі швидкістю польоту насіння і відомою залежністю [55]:

$$K_n = \frac{g}{v_{\kappa p}^2}. \quad (2.22)$$

При цьому швидкість польоту насіння  $v_{\kappa p}$  визначається зазвичай дослідним шляхом.

З урахуванням залежності (2.21) робота сил опору за виразом (2.20):

$$A_{\text{св1}} = \frac{m \cdot K_n \cdot (v_0 + v_{\kappa 1})^2 \cdot h_1}{4 \cos \beta}. \quad (2.23)$$

Підставивши у формулу (2.13) замість її складових їх вирази, отримаємо:

$$\frac{mv_{\kappa 1}^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} - mgh_1 + fmg \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot h_1 + \frac{m \cdot K_n \cdot h_1 \cdot (v_0 + v_{\kappa 1})^2}{4 \cos \beta} = 0. \quad (2.24)$$

Розділивши обидві частини цього рівняння на  $m$  помноживши на  $4 \cos \beta$ , отримаємо

$$2 \cos \beta \cdot v_{\kappa 1}^2 - 2 \cos \beta \cdot v_0^2 - 4 \cos \beta \cdot gh_1 + 4 \cos \beta \cdot fh_1 \cdot \operatorname{tg} \beta + K_n \cdot h_1 \cdot (v_0 + v_{\kappa 1})^2 = 0. \quad (2.25)$$

Або після деяких математичних перетворень:

$$(2 \cos \beta + K_n \cdot h_1)^2 \cdot v_{\kappa 1}^2 + 2K_n h_1 v_0 v_{\kappa 1} + (4 \sin \beta \cdot fh_1 + K_n h_1 v_0^2 - 2 \cos \beta \cdot v_0^2 - 4 \cos \beta \cdot gh_1) = 0. \quad (2.26)$$

Рівняння (2.26) має вигляд повного квадратичного рівняння з невідомим  $v_{\kappa 1}$ . Вирішуючи це рівняння відносно  $v_{\kappa 1}$ , отримаємо:

$$v_{\kappa 1} = \frac{-K_n h_1 v_0 + \sqrt{K_n^2 h_1^2 v_0^2 - (2 \cos \beta + K_n \cdot h_1)(K_n h_1 v_0^2 + 4 \sin \beta \cdot fh_1 - 2 \cos \beta \cdot v_0^2 - 4 \cos \beta \cdot gh_1)}}{2 \cos \beta + K_n h_1}. \quad (2.27)$$

Якщо не враховувати опір повітря на ділянці I насіннепровода зважаючи на невисоку швидкість руху, то швидкість насіння в кінці ділянки I можна визначити по залежності:

$$v_{\kappa 1} = \sqrt{v_0^2 + 2gh_1(1 - f \cdot \operatorname{tg} \beta)}. \quad (2.28)$$

Порівняння результатів розрахунків за формулами (2.16) і (2.17) дозволить визначити, наскільки значимі в енергетичному балансі насіння втрати на подолання опору повітря, а також виявити можливість заміни складних розрахункових рівнянь на більш прості, зберігаючи при цьому достатню точність розрахунку.

Майже всі параметри, що входять у формули (2.27) і (2.28) є величинами постійними і становлять:  $K_n = 0,09 \text{ м}^{-1}$ ;  $h_1 = 0,144 \text{ м}$ ;  $\beta = 20^\circ$ ;  $f = 0,25$  (згідно з результатами експериментальних досліджень, представлених в розділі 4.1);  $R = 0,06 \text{ м}$ . Перемінною величиною є кутова швидкість  $\omega$ , яка при постійному

радіусі  $R$  визначає величину швидкості  $v_0$  ( $v_0 = \omega R$ ). Оскільки  $v_0 < 1$  і в рівняннях присутня в другому ступені, то її вплив на кінцевий результат незначний, і в якості допущення можна прийняти значення  $\omega$  величиною постійною і рівною  $3 \text{ сек}^{-1}$ .

Підставивши в рівняння (2.27) і (2.28) кінцеві значення, котрі входять до них параметрів, отримуємо, що з урахуванням опору повітря на ділянці I насіннєпровода швидкість насіння в кінці цієї ділянки складе  $1,59 \text{ м/с}$ , а без урахування опору повітря -  $1,60 \text{ м/с}$ . Розбіжність в отриманих результатах настільки мала (0,6%), що дозволяє використовувати спрощену формулу (2.17) для подальших досліджень руху насіння по насіннєпроводу.

На ділянці II, що має криволінійну поверхню, вектор швидкості змінює напрямок (рис. 2.8), а кут між вектором швидкості і вертикаллю ( $\varphi$ ) змінюється в діапазоні від  $\beta$  до  $\pi/2$ .

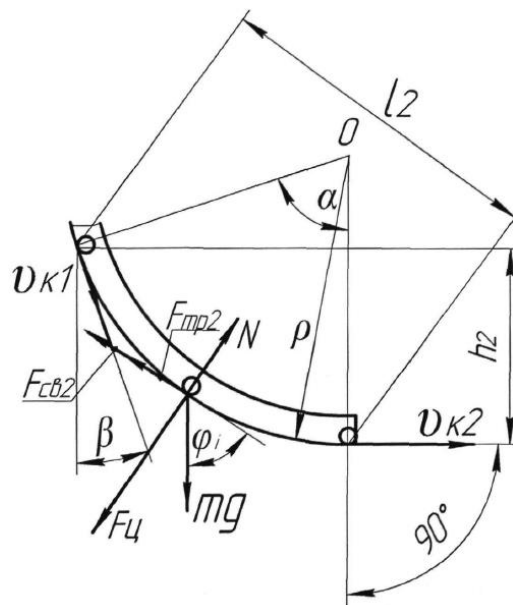


Рисунок 2.8. Схема руху насіння по ділянці II насіннєпровода.

Сила тертя в кожній точці траєкторії визначається як добуток суми сили тяжіння, помноженої на  $\sin\varphi$ , і відцентрової сили  $F$  (залежить від швидкості) на коефіцієнт тертя  $f$  в даній точці траєкторії. З огляду на незначний модуль швидкості, коефіцієнт тертя  $f$  можна вважати постійним на всій довжині ділянки II насіннєпровода 12.

Тоді 
$$F_y = m \cdot a_{yi} = \frac{m \cdot v_i^2}{\rho}, \quad (2.29)$$

де  $v_i$  - миттєва швидкість в даній точці траєкторії, м/с;

$\rho$  - радіус кривизни насіннєпровода (приймаємо постійним на всій ділянці), м.

$$F_{mpi} = f \cdot m \left( g \cdot \sin \varphi_i + a_{yi} \right) = f \cdot m \left( g \cdot \sin \varphi_i + \frac{v_i^2}{\rho} \right), \quad (2.30)$$

де  $\varphi_i$  - кут між вектором швидкості і горизонталлю в будь-якій точці руху насіння по насіннєпроводу ( $\beta \leq \varphi_i \leq \pi/2$ ),  $\varphi_0 = \beta$ ,  $\varphi_1 = \beta + \Delta\varphi \dots \varphi_n = \beta + n\Delta\varphi$ .

Рівняння енергетичного балансу для ділянки II насіннєпровода має вигляд:

$$E_{kk2} - E_{k02} - \Delta E_{n2} + A_{mp2} + A_{c62} = 0. \quad (2.31)$$

Розглянемо кожен зі складових рівняння (2.31) окремо. Кінетична енергія насіння на початку ділянки II  $E_{k02}$  дорівнює кінетичній енергії насіння в кінці ділянки I  $E_{kk1}$  і визначається за формулою:

$$E_{k02} = E_{kk1} = \frac{m \cdot v_{k1}^2}{2}, \quad (2.32)$$

Кінетична енергія насіння в кінці ділянки II насіннєпровода визначається за формулою, аналогічною (2.21)

$$E_{kk2} = \frac{m \cdot v_{k2}^2}{2}, \quad (2.33)$$

де  $v_{k2}$  - швидкість насіння в кінці ділянки II насіннєпровода, м/с. Різниця потенційних енергій насіння на ділянці II визначається різницею геодезичних  $h_3$  рівнів початку і кінця ділянки II.

$$\Delta E_{n2} = mg \cdot h_2. \quad (2.34)$$

Робота сили тертя насіння об поверхню насіннєпровода залежить від сили тертя  $F_{mp2}$  і довжини  $l_2$  ділянки II насіннєпровода. Оскільки  $F_{mp2}$  є на цій ділянці величиною змінною, робота сил тертя визначиться за формулою:

$$A_{mp2} = \int_{(l)} F_{mp2} dl = mf \int_{(l)} \left( g \cdot \sin \varphi_i + \frac{v_i^2}{\rho} \right) dl. \quad (2.35)$$

Припускаємо, що насіння рухається по насіннепроводу (жолобу) ковзанням, тобто не має обертального руху. Тоді енергію обертального руху  $E_{\text{об}} = J\omega^2/2$  можна вважати рівною «0» і не враховувати при складанні енергетичного рівняння.

Оскільки радіус кривизни  $\rho = \text{const}$ , то

$$dl = \rho d\varphi. \quad (2.36)$$

Тоді

$$A_{\text{мп}2} = \rho \int_{\beta}^{\pi/2} F_{\text{мп}2} d\varphi = mf \int_{\beta}^{\pi/2} (\rho g \cdot \sin \varphi_i + v_i^2) d\varphi. \quad (2.37)$$

Враховуючи, що швидкість руху насіння на ділянці II насіннепровода мала і закономірність її зміни близька до лінійної, замінимо у формулі (2.37)  $v_i$  на середню швидкість насіння на ділянці II  $v_{\kappa 1} + v_{\kappa 2}/2$ . Тоді формула (2.37) прийме вигляд:

$$A_{\text{мп}2} = mf \int_{\beta}^{\pi/2} \left( \rho g \cdot \sin \varphi_i + \frac{(v_{\kappa 1} + v_{\kappa 2})^2}{4} \right) d\varphi. \quad (2.38)$$

Інтегруючи праву частину рівняння (2.38) і враховуючи, що  $\pi/2 - \beta = \alpha$  (рис. 2.8), в кінцевому рахунку, отримаємо:

$$A_{\text{мп}2} = mf \int_{\beta}^{\pi/2} \left[ \rho g \cdot \cos \beta + \frac{(v_{\kappa 1} + v_{\kappa 2})^2}{4} \cdot \alpha \right], \quad (2.39)$$

де  $\alpha$  - кут, що доповнює кут  $\beta$  до  $\pi/2$ , рад.

Роботу сили опору повітря на ділянці II насіннепровода визначимо за виразом:

$$A_{\text{св}2} = F_{\text{св}2} \cdot l_2 = mK_n \cdot v_i^2 \cdot l_2, \quad (2.40)$$

де  $v_i$  - миттєва швидкість на ділянці II насіннепровода, м/с;

$l_2$  - довжина ділянки II насіннепровода, м.

Враховуючи, що швидкість руху насіння по ділянці II мала ( $v_{\kappa 2} < v_{\kappa 1} < 1,6$  м/с) і втрати енергії на подолання сили опору повітря при таких швидкостях незначні,  $v_i$  у формулі (2.40) замінимо на середню швидкість  $v_{\kappa 1} + v_{\kappa 2}/2$ .

Оскільки довжина дуги  $l_2$  при постійному радіусі кривизни  $\rho$  дорівнює:

$$l_2 = \rho \cdot \alpha, \quad (2.41)$$

то робота сили опору повітря на ділянці II насіннепровода може бути визначена по залежності:

$$A_{cв2} = \frac{1}{4} m \cdot \rho \cdot \alpha \cdot K_n \cdot (v_{к1} + v_{к2})^2. \quad (2.42)$$

Підставляючи у формулу (2.31) замість її складових їх вирази - (2.33), (2.34), (2.39) і (2.42), отримаємо рівняння енергетичного балансу насіння на ділянці II насіннепровода в розгорнутому вигляді:

$$\frac{mv_{к2}^2}{2} + mf \left( \rho g \cdot \cos \beta \frac{(v_{к1} + v_{к2})^2 \cdot \alpha}{4} \right) + m\rho K_n \alpha \frac{(v_{к1} + v_{к2})^2}{4} - mgh_2 - \frac{mv_{к1}^2}{2} = 0. \quad (2.43)$$

Помноживши обидві частини рівняння (2.32) на величину - і провівши перетворення, отримаємо:

$$2v_{к2}^2 + \alpha(v_{к1} + v_{к2})^2 (f \cdot \rho \cdot K_n) + 4f \cdot \rho \cdot g \cdot \cos \beta - 4gh_2 - 2v_{к1}^2 = 0. \quad (2.44)$$

Вхідні в цю формулу параметри  $f$ ,  $\rho$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $g$ ,  $K_n$  і  $h_2$  є величинами постійними. В межах допустимої похибки швидкість  $v_{к1}$ , також можна вважати величиною постійною, як і виведення залежностей (2.27) і (2.28). Отже, невідомим параметром в рівнянні (2.44) є швидкість  $v_{к2}$ . Перетворивши вираз (2.44) у формулу повного квадратичного рівняння і розв'язавши його відносно  $v_{к2}$ , отримаємо:

$$v_{к2} = \frac{-\alpha v_{к1} (f + \rho K_n) + \sqrt{\alpha^2 v_{к1}^2 (f + \rho K_n)^2 - (2 + \alpha f + \alpha \rho K_n) (\alpha f v_{к1}^2 + \alpha \rho K_n v_{к1}^2 + 4f \rho \cdot g \cdot \cos \beta - 4gh_2 - 2v_{к1}^2)}}{2 + \alpha \cdot f + \alpha \rho K_n}. \quad (2.45)$$

Таким чином, попередньо визначивши швидкість  $v_{к1}$  за рівнянням (2.28), за формулою (2.45) можна визначити швидкість насіння на виході з другої ділянки  $v_{к2}$  і для подальших розрахунків в межах допустимої похибки вважати її величиною постійною.

У другій задачі при виході з криволінійної ділянки II насіннепровода зі швидкістю  $v_{к2}$ , насіння продовжує рух по ділянці III нарощуючи свою швидкість за рахунок сили повітряного потоку  $F_в$ , яка визначається швидкістю повітряного потоку  $v_в$ . На відрізьку АВ ділянки III насіння рухається без тертя в

одному повітряному потоці опускаючись на поверхню насіннепроводу в точці «В» і далі рухається з ковзанням до точки «С» насіннепроводу.

Сила повітряного потоку  $F_6$ , діючого на насіння, за аналогією з силою опору повітря може бути представлена виразом:

$$F_6 = m \cdot K_n \cdot v_6^2 = m \cdot a_i, \quad (2.46)$$

де  $K_n$  - коефіцієнт парусності насіння,  $m^{-1}$ ;

$v_6$  - швидкість повітряного потоку відносно насіння, м/с;

$a_i$  – прискорення насіння повітряним потоком,  $m/c^2$ .

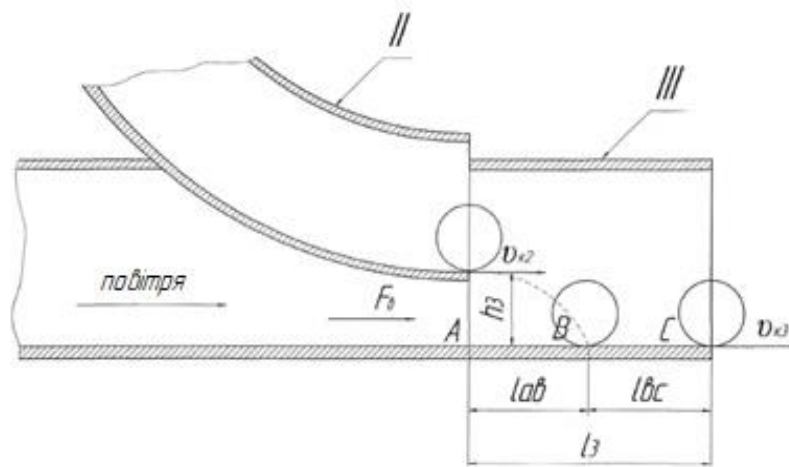


Рисунок 2.9. Схема руху насіння по ділянці III насіннепроводу.

Час на подолання насінням ділянки  $av$  буде:

$$t_{av} = \sqrt{\frac{2h_3}{g}}, \quad (2.47)$$

де  $h_3$  - різниця геодезичних рівнів кінця ділянки II і внутрішньої поверхні на ділянці III.

Швидкість насіння в кінці відрізка  $av$  визначитися за виразом:

$$v_{av} = v_{к2} + at_{av} = \frac{gv_{к2} + \sqrt{2gh_3} \cdot K_n \cdot v_6^2}{g}, \quad (2.48)$$

а довжина відрізка  $l_{av}$

$$l_{av} = v_{к2} \cdot t_{av} + \frac{at_{av}^2}{2} = \frac{v_{к2} \sqrt{2gh_3} + K_n h_3 v_6^2}{g}. \quad (2.49)$$

На відрізку BC насіння продовжує рух з наростаючою швидкістю, при

цьому може виникнути гальмуюча рух сила тертя насіння об стінку прискорювача, що залежить від реакції тиску насіння на стінку  $N_3$ . Однозначно встановити фізику процесу руху насіння в повітряному потоці не представляється можливим. Очевидно, що максимальний тиск насіння на стінку насіннепровода складе  $N_3 = mg$ , а мінімальний - дорівнює нулю, коли насіння рухається в повітряному потоці не торкаючись стінок насіннепровода.

Оскільки на виході з прискорювача насіннепровода швидкість насіння повинна бути рівною швидкості сівалки, то прискорення насіння на відрізку ВС має бути:

$$a_{ac} = \frac{v_a - v_{ae}}{t_{ec}}, \quad (2.50)$$

де  $v_a$  - швидкість посівного агрегату, м/с.

З іншого боку:

$$a_{ec} = \frac{F_e - F_{mp3}}{m}. \quad (2.51)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (2.50) і (2.51), отримаємо:

$$t_{ec} = \frac{m \cdot (v_a - v_{ae})}{F_e - F_{mp3}}, \quad (2.52)$$

де  $F_{mp3}$  - сила тертя при русі насіння по третій ділянці насіннепровода, Н;  
 $F_e$  - сила повітряного потоку в прискорювальній частині насіннепровода, Н.

Тоді довжина відрізка  $l_{ec}$  буде рівна:

$$l_{ec} = v_{ae} t_{ec} + \frac{a_{ec} t_{ec}^2}{2}. \quad (2.53)$$

Поставивши у формулу (2.53) замість  $a_{ec}$  і  $t_{ec}$  їх вирази по (2.51) і (2.52) в остаточному вигляді отримаємо:

$$l_{ec} = \frac{m \cdot (v_a^2 - v_{ae}^2)}{2(F_e - F_{mp3})} = \frac{mv_a^2 - m \left( v_{k2} + \frac{K_n v_e^2 \sqrt{2gh_3}}{g} \right)^2}{2(K_n m v_e^2 - f \cdot N_3)}. \quad (2.54)$$

Довжина  $l_3$  ділянки III насіннепровода, названа прискорювачем насіння, визначиться сумою відрізків  $l_{ae}$  і  $l_{ec}$ :

$$l_3 = \frac{v_{\kappa 2} \sqrt{2gh_3} + K_n h_3 v_6^2}{g} + \frac{mv_a^2 - m \left( v_{\kappa 2} + \frac{K_n v_6^2 \sqrt{2gh_3}}{g} \right)^2}{2(K_n m v_6^2 - f \cdot N_3)}. \quad (2.55)$$

При  $N_3 = 0$

$$l_3 = \frac{v_{\kappa 2} \sqrt{2gh_3} + K_n h_3 v_6^2}{g} + \frac{v_a^2 - \left( v_{\kappa 2} + \frac{K_n v_6^2 \sqrt{2gh_3}}{g} \right)^2}{2K_n v_6^2}. \quad (2.56)$$

При  $N_3 = f \cdot mg$

$$l_3 = \frac{v_{\kappa 2} \sqrt{2gh_3} + K_n h_3 v_6^2}{g} + \frac{v_a^2 - \left( v_{\kappa 2} + \frac{K_n v_6^2 \sqrt{2gh_3}}{g} \right)^2}{2(K_n v_6^2 - fg)}. \quad (2.57)$$

Довжину прискорювача насіннепровода  $l_3$  (вирази (2.56) і (2.57)), представимо в графічному вигляді, задавшись при цьому певними значеннями швидкості посівного агрегату  $v_a$  (рис. 2.10, 2.11).

Аналіз виразів (2.56), (2.57) і графіків (рисунок 2.10, 2.11) показує:

- довжина прискорювача насіннепровода  $l_3$  залежить від швидкості повітряного потоку  $v_6$  і швидкості посівного агрегату  $v_a$ ;
- досягти швидкості насіння на виході з насіннепровода, яка дорівнює швидкості посівного агрегату  $v_a$ , можна за рахунок оптимального поєднання довжини прискорювача  $l_3$  і швидкості повітря  $v_n$ , що подається в прискорювач;
- швидкість повітря  $v_n$  є основним фактором, за допомогою якого можна змінювати швидкість насіння на виході з насіннепровода під час виробничого процесу висіву насіння.

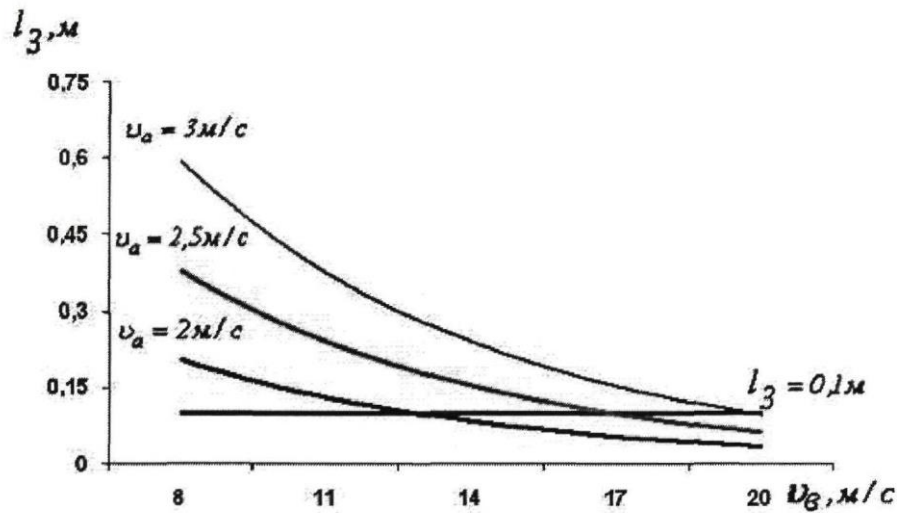


Рисунок 2.10. Залежність довжини насіннепровода від швидкості повітряного потоку  $l_3 = f(v_e)$  при  $N_3 = 0$ .

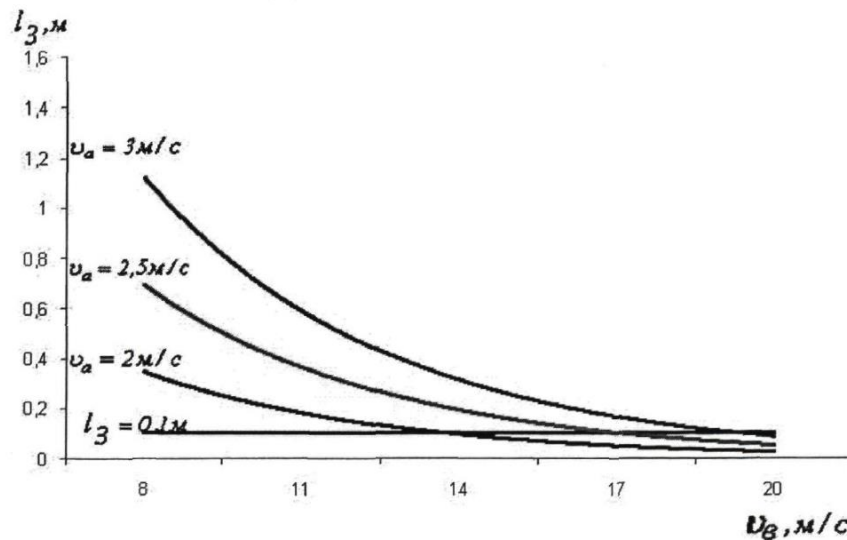


Рисунок 2.11. Залежність довжини насіннепровода від швидкості повітряного потоку  $l_3 = f(v_e)$  при  $N_3 = fmg$ .

Оскільки шуканим параметром досліджень є швидкість насіння на виході з прискорювача  $v_{к3}$ , то, підставивши в формулу (2.45) замість  $v_a$  швидкість  $v_{к3}$ , отримаємо формулу для визначення швидкості насіння на виході з прискорювача:

$$v_{к3} = \sqrt{2K_n l_3 v_e^2 + \left( v_{к2} + \frac{K_n v_e^2 \sqrt{2gh_3}}{g} \right)^2 - \frac{2K_n v_e^2}{g} (v_{к2} \sqrt{2gh_3} + K_n h_3 v_e^2)}. \quad (2.58)$$

При необхідності, підставивши в формулу (2.58) вирази (2.45), (2.28) і

(2.17), можна отримати розрахункову формулу для визначення швидкості насіння на виході з насіннепровода.

Змінюючи значення  $v_6$  в діапазоні 8...20 м/с, при довжині прискорювача  $l_3 = \text{const}$  (з апіорної інформації  $l_3$  приймемо рівною 0,1 м), отримаємо залежності  $v_{к3} = f(v_6)$ , представлені на рисунку 2.12.

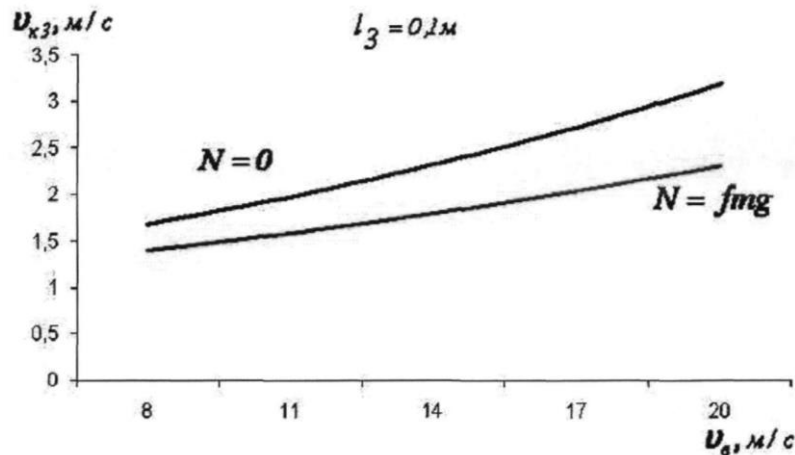


Рисунок 2.12. Залежність швидкості насіння на виході з насіннепровода від швидкості повітряного потоку  $v_{к3} = f(v_6)$ .

Отримані результати дозволяють визначити діапазони зміни швидкості  $v_6$  при проведенні багатofакторних експериментів.

При вирішенні цього завдання були зроблені наступні допущення і спрощення реальної фізичної моделі:

1. Перебіг повітряного потоку - ламінарний рівношвидкий в кожній точці потоку. Швидкість повітряного потоку мала.
2. Не враховуються турбулентні зони на виході з труби насіннепровода.
3. Насіння вважається рухомим поступально, без обертання, що дозволяє вважати постійним коефіцієнт тертя  $f_1$  і не враховувати ефект Магнуса, що виникає при русі крутного тіла в повітряному потоці.

Отримавши значення швидкості вхідного повітряного потоку в насіннепровід, перейдемо до масово-об'ємних характеристик Потокар [2]:

$$m_{сек} = \rho_6 v_6 S_{mp}, \quad V_{сек} = v_6 S_{mp}, \quad (2.59)$$

де  $m_{сек}$  - секундна витрата повітря, кг;

$V_{сек}$  - секундний прокачується об'єм повітря, м<sup>3</sup>;

$\rho_v$  - щільність повітря при заданих умовах, кг/м,  $\rho_v = 1,2 \text{ кг/м}^3$  [2];

$S_{тр}$  - площа поперечного перерізу труби повітропроводу, м<sup>2</sup>.

За результатами розрахунків  $m_{сек}$  підбираємо відповідне обладнання для подачі повітря в насіннепроводи сівалки. Отримані результати досліджень показують необхідність подальшої розробки автоматичного пристрою, що забезпечує подачу повітря в прискорювач насіннепровода, відповідного швидкості сівалки.

#### 2.4. Висновки до розділу

1. При вільному падінні насіння з висівного диска в серійних сівалках типу СУПН-8А відбувається косий удар насіння об ґрунт зі швидкістю 1,5...2,5 м/с і кутом падіння (45°...65°) відносно вертикалі в наслідок чого виникає явище відскоку насіння. Значення швидкості і кута падіння, при яких виникає це явище, визначається експериментальним шляхом.

2. Розроблена функціональна схема і конструкція насіннепровода до висівних апаратів дозволяє здійснювати транспортування насіння від висівного диска до дна борозни по заданій траєкторії, яка визначається формою насіннепровода. Насіннепровід повинен мати зони: прийому насіння від висівного апарату (ділянка I), зміни вектора швидкості (ділянка II) і прискорення руху насіння до необхідної величини (ділянка III).

3. Застосування прискорювача руху насіння в конструкції насіннепровода дозволяє змінювати швидкість насіння на виході з насіннепровода  $v_{кз}$  в заданих межах. Основними факторами, що визначають  $v_{кз}$  швидкість повітряного потоку в прискорювачі насіння  $v_v$ , довжина прискорювача  $l_3$  і частота обертання висівного диска. Оптимальне поєднання цих факторів є областю подальших експериментальних досліджень.

4. Аналіз теоретичних досліджень показує, що найбільш значимим фактором управління швидкістю насіння на виході з насіннепровода  $v_{кз}$  є швидкість повітряного потоку в прискорювачі  $v_v$ , максимальне значення якого не перевищує 20 м/с.

### 3. Програма і методика експериментальних досліджень

#### 3.1 Мета і програма експериментальних досліджень

Технологічний процес однозернового висіву насіння пневматичними сівалками представляє собою складний комплекс взаємодії безлічі факторів і може бути реалізований в різних варіантах конструктивно-функціональних схем висівних систем.

Метою експериментальних досліджень є перевірка теоретичних досліджень і визначення характеру впливу найбільш значущих факторів на якісні показники однозернового висіву насіння кукурудзи вдосконаленим пневматичним висівним апаратом з насіннепроводом-прискорювачем, що дозволяє регулювати швидкість насіння на виході з нього.

Спираючись на теоретичні дослідження і з огляду на мету, в програму експериментальних досліджень включені наступні питання:

1. Вивчення властивостей посівного матеріалу: маса 1000 зерен, фрикційні властивості насіння, визначення коефіцієнта парусності насіння.
2. Розробка і виготовлення лабораторної установки для моделювання процесу удару насіння по дну борозни при посіві серійними сівалками типу СУПН.
3. Розробка та виготовлення лабораторної установки для досліджень удосконаленого висівного апарату з насіннепроводами.
4. Проведення експериментальних досліджень:
  - дослідження руху насіння в насіннепроводі без прискорювача;
  - виявлення найбільш значущих факторів, що чинять істотний вплив на процес управління рухом насіння в насіннепроводі з прискорювачем, визначення їх інтервалів варіювання;
  - визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів вдосконаленого висівного апарату.
5. Аналіз результатів експериментальних досліджень і оцінка їх відповідності теоретичним передумовам і розрахункам.

3.2. Методика експериментальних досліджень. Обладнання та прилади для проведення досліджень

Методичне забезпечення при виконанні експериментальних робіт здійснювалося шляхом поєднання стандартних і робочих методик, що визначають порядок і послідовність операцій при визначенні різних показників.

3.2.1. Методика і обладнання для досліджень властивостей посівного матеріалу.

В якості посівного матеріалу використовувалося насіння кукурудзи середньостиглого гібрида Сплендіс. Відбір проб по 1000 насінин проводився в триразовій повторності. Зважування насіння з точністю 0,1 г по ГОСТ 12042-80 [20] здійснювалося на вагах аналітичних ALC-210d4 (ГОСТ 24104-2001): межа зважування 210 г, дискретність звіту 0,0001 г, точність 0,001 г. За результатами триразової повторності визначали середнє значення маси 1000 зерен  $m_{\phi}$ , крім того, за відомою методикою [15, 35] визначається середнє відхилення  $\sigma$ , коефіцієнт варіації  $V$ .

Фрикційні властивості кукурудзи, такі як коефіцієнт тертя насіння по сталі, є відомим параметром [56]. У нашому експерименті застосовується насіннепровід з металопластикового матеріалу (труба ГОСТ Р 52134-2003), коефіцієнт тертя об який для кукурудзи відсутній в літературних джерелах. Тому нами визначався коефіцієнт статичного тертя  $f_{cm}$  насіння кукурудзи по металопластиковій трубці (насіннепроводу) на лабораторній установці (рис. 3.1).

За основу даних лабораторних досліджень взята стандартна методика визначення коефіцієнта тертя спокою на установці «похила площина» [40]: насіння поміщають на внутрішню поверхню телескопічної трубки 6, встановлену горизонтально. Потім плавно переміщають базову поверхню 5 вгору, тим самим змінюючи кут нахилу площини до моменту початку руху насіння. За допомогою кутоміра 3 (рис. 3.1) фіксується кут  $\delta$  (рис. 3.2) нахилу базової поверхні.

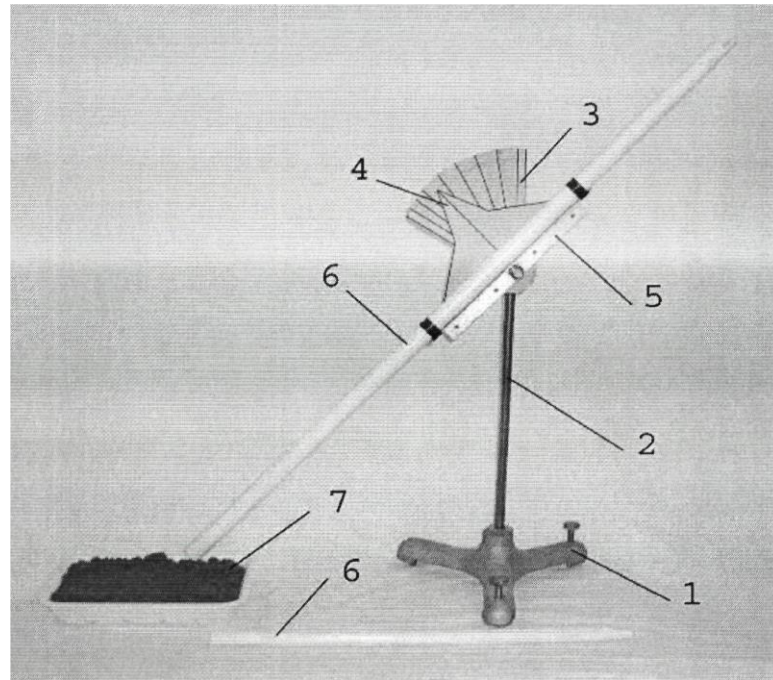


Рисунок 3.1. Лабораторна установка для визначення кута тертя спокою і моделювання удару насіння по дну борозни ґрунту:

1 - опора з регулювальним гвинтом, 2 - штатив, 3 - нерухомий сектор кутоміра, 4 - покажчик кутоміра, 5 - базова поверхня, 6 - телескопічна трубка, 7 - ємність з ґрунтом.

Згідно рисунка 3.2, кут тертя спокою насіння, при якому насіння починає рухатися по похилій площині:  $\delta = 90 - \gamma > \delta_{mp}$ . Кут тертя  $\delta_{mp}$  визначається за умови  $F_{ск} = F_{mp}$ , тобто  $mg \cdot \cos \gamma = N \cdot f_{cm} = f_{cm} \cdot mg \cdot \sin \gamma$ ;  $f_{cm} = \text{ctg} \gamma$  або  $f_{cm} = \text{tg} \delta$ , звідси статичний коефіцієнт тертя визначається за формулою:

$$f_{cm} = \text{tg} \delta = \text{ctg} \gamma, \quad (3.1)$$

де  $\delta$  - кут нахилу базової поверхні, град.;

$\gamma$  - кут між вертикаллю і напрямом вектора швидкості в момент падіння насіння (кут падіння насіння), град.

Коефіцієнт тертя спокою визначався на основі серії дослідів ( $n = 50$  шт.) з триразовою повторністю. Результати отриманих експериментальним шляхом даних представляють у вигляді статистичного ряду (таблиця 4.2). Далі визначають числові характеристики статистичного ряду: середнє значення кута тертя ( $\bar{\delta}$ ) середньоквадратичне відхилення ( $\sigma$ ), коефіцієнт варіації ( $V$ ).

Вибирають теоретичний закон розподілу кута тертя насіння кукурудзи по дну насіннєпровода, розраховують верхній і нижній рівні варіювання середнього значення ( $\bar{\delta}_\alpha^n$ ;  $\bar{\delta}_\alpha^e$ ) з урахуванням критерію Стюдента при довірчій ймовірності  $\alpha = 0,95$ . Кут тертя насіння кукурудзи по насіннєпроводу розраховують за формулою (3.1).

Динамічний коефіцієнт тертя  $f_\delta$  визначався як 0,6...0,7 від статичного коефіцієнта тертя  $f_{cm}$  [40].

Аеродинамічні властивості насіння кукурудзи визначалися на парусному класифікаторі ППК-ВІМ за відомою методикою [2, 54]. Визначалася швидкість витання насіння, результати проведених досліджень представлені в розділі 4.1.

3.2.2. Методика дослідження удару насіння об ґрунт в серійній просапній сівалці.

Дослідження удару насіння об ґрунт в серійній просапній сівалці проводилося за допомогою пристрою, представленого на рисунку 3.2.

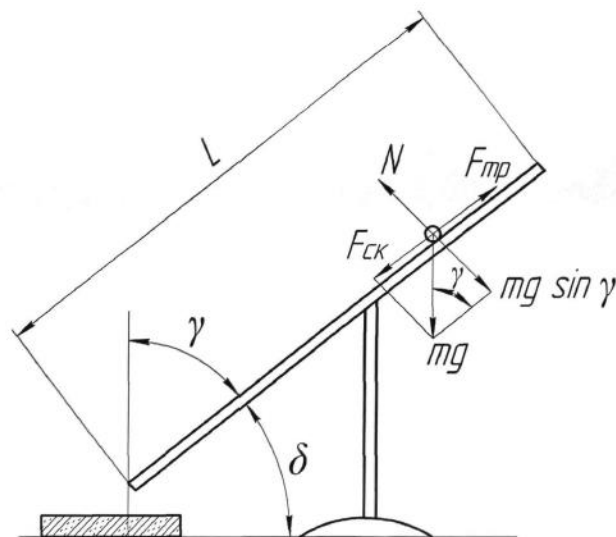


Рисунок 3.2. Схема для визначення явища відскоку насіння від ґрунту при падінні на дно борозни.

На цій лабораторній установці (рис. 3.1) імітували удар насіння об дно борозни, при різних кутах падіння і швидкостях.

Кут падіння  $\gamma$  змінювався відхиленням базової поверхні  $S$  від вертикалі,

швидкість падіння насіння при заданому куті визначалася висотою падіння, що залежить від довжини телескопічної трубки  $L$  (рис. 3.2).

Якщо знехтувати опором повітря, то рівняння балансу енергії:

$$(F_{ck} - F_{mp})L = \frac{mv_c^2}{2}, \quad (3.2)$$

де  $v_c$  - швидкість насіння в момент падіння, м/с.

$$\text{Якщо } v_0 = 0, \text{ то } (mg \cdot \cos \gamma - f mg \cdot \sin \gamma) \cdot L = \frac{mv_c^2}{2}, \quad (3.3)$$

Швидкість насіння в момент падіння визначалась за формулою:

$$v_c = \sqrt{2g(\cos \gamma - f \sin \gamma) \cdot L}. \quad (3.4)$$

Швидкість насіння залежить від кута падіння насіння  $\gamma$  і довжини ділянки руху насіння  $L$ .

Для проведення експерименту по визначенню відскоку в момент падіння насіння на лабораторній установці (рис. 3.1) необхідно задатися кутом  $\gamma$  ( $\gamma = \text{const}$ ) і, змінюючи величину шляху руху насіння по похилій площині  $L$ , провести серію дослідів, або прийняти за постійний фактор довжину похилій площині ( $L = \text{const}$ ), тоді змінним стає кут нахилу  $\gamma$ . Отримані результати дослідження представлені в таблиці 4.3.

Пристрій лабораторної установки (рис. 3.1) дозволяє за допомогою кутоміра 3 виставляти необхідний кут між поверхнею ковзання і вертикаллю, а за допомогою телескопічних трубок 6 отримувати на виході з трубки необхідну швидкість насіння В результаті удару об ґрунт насіння може: залишитися на місці падіння; зміститися з ковзанням від місця падіння на різну відстань; відскочити від ґрунту з повторним його приземленням.

Метою даних досліджень є отримання візуальної інформації, що дозволяє методом експериментальної оцінки визначити, при яких швидкостях і кутах падіння насіння на дно борозни має місце відскокування або значні зсуви, і при яких швидкостях і кутах падіння насіння залишаються на місці (зміщення не більше 1 см) розрахункового падіння.

Методика і обладнання для досліджень процесу руху насіння по насіннєпроводу.

Експериментальні дослідження процесу руху насіння по насіннєпроводу виконувалися на лабораторній установці, представлений на рисунку 3.3.

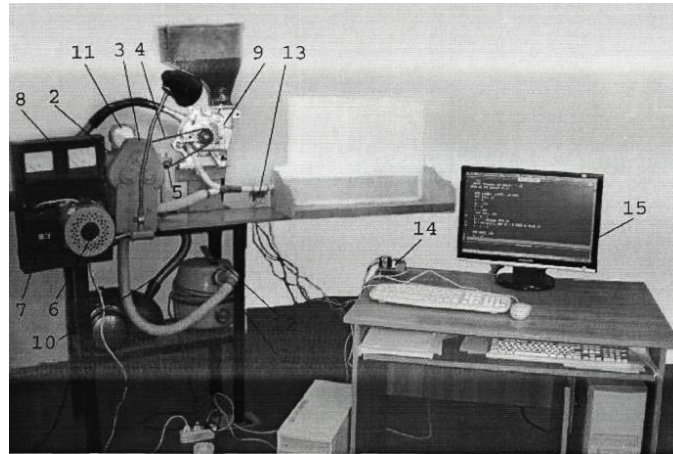


Рисунок 3.3. Лабораторна установка для досліджень пневматичних висівних апаратів:

1 – рама; 2 - електродвигун постійного струму; 3 - редуктор, 4 - приводний ланцюг, 5 - натяжний ролик, 6 - регулятор напруги, 7 - випрямляч струму; 8 - монтажний щит з контрольними приладами і вимикачем живлення; 9 - експериментальний висівний апарат; 10 - вакуумна установка з регулятором розрідження; 11- тягомір мембранний Тм МП-100; 12 - повітрянагнітальний пристрій з регульованою подачею повітря; 13 - датчики вимірювання швидкості насіння на виході з насіннєпроводу; 14 - блок управління датчиками; 15 - персональний комп'ютер.

Лабораторна установка включає (рис. 3.3):

- раму 1 для кріплення на ній комплектуючих вузлів;
- електромеханічний привод висівного апарату з електродвигуном постійного струму 2, редуктором 3, приводний ланцюг 4 з натяжним роликом 5;
- блок живлення електроприводу, що включає регулятор напруги 6, випрямляч струму 7, монтажний щит 8 з контрольними приладами і вимикачем живлення;
- експериментальний висівний апарат 9;

- вакуумну установку 10 з регулятором витрати повітря;
- контрольний прилад вимірювання розрідження у вакуумній камері 11 висівного апарату у вигляді тягоміра ТММП-100;
- повітрянагнітальний пристрій 12 з регульованою подачею повітря;
- систему вимірювання швидкості насіння, що включає: датчики вимірювання швидкості насіння на виході з насіннепровода 13, блок управління датчиками 14; персональний комп'ютер 15.

Електромеханічний привід установки дозволяє отримувати регульовану частоту обертання висівного диска апарату в межах від 0 до 100 об/хв. Механічна частина приводу має приводний ланцюг з 64 ланок і зірочки вала апарату з шістнадцятьма зубами, тобто один оборот ланцюга відповідає чотирьом оборотам вала апарату.

В якості об'єкта дослідження використовувався експериментальний висівний апарат (рис. 3.4), виготовлений в результаті переобладнання серійного апарату сівалки СУПН-8А. Для візуальних спостережень за процесом висіву насіння, а також для фотозйомки його етапів і фрагментів конструкції апарату деякі стінки і перегородки корпусу апарату були видалені, а частина з них замінена оргсклом.

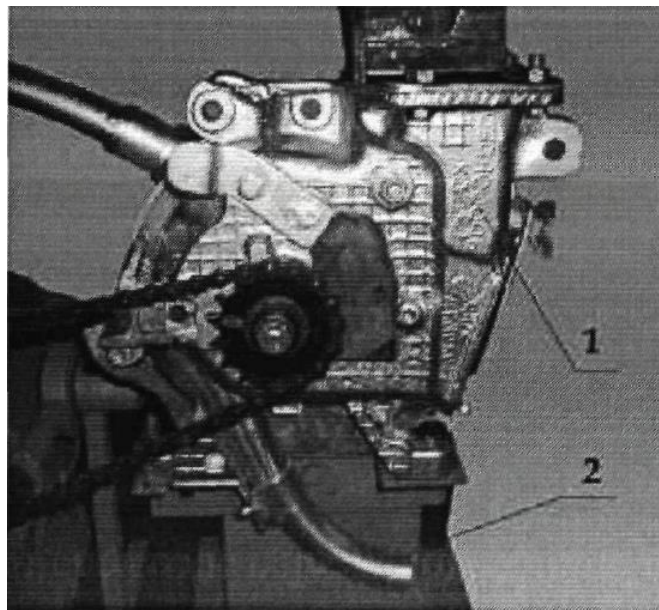


Рисунок 3.4. Експериментальний висівний апарат:

1 - серійний пневматичний висівний апарат,

## 2 експериментальний насіннепровід

Висівний апарат укомплектовується змінними насіннепроводами двох типів: перший - без прискорювача насіння (рис. 3.5, а), другий - з прискорювачем (рис. 3.5, б).

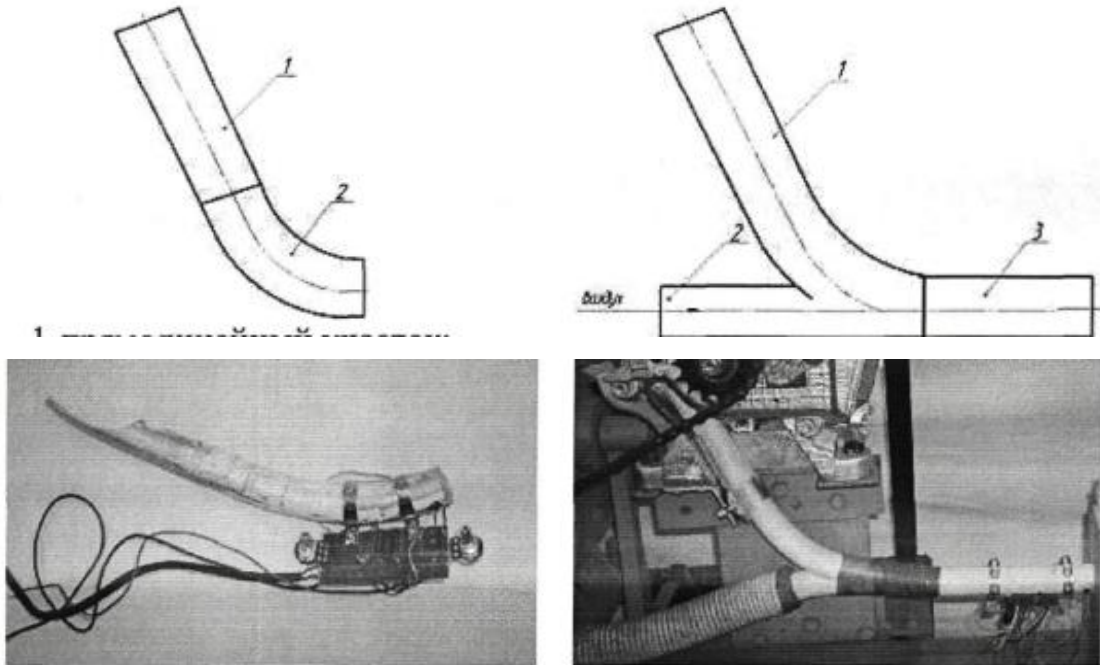


Рисунок 3.5. Експериментальні насіннепроводи до сівалки СУІН-8А:

а) без прискорювача насіння; б) з прискорювачем насіння;  
1 - прямолінійна ділянка; 2 - ділянка криволінійної форми з постійним радіусом кривизни; 3 - прискорювальна ділянка.

В експериментальному висівному апараті насіннепровід представляє собою трубку круглого перетину, діаметр якої визначений за формулою, запропонованою В.А. Гребцовим [22]:

$$D_{\text{вн}} = \frac{2d_y}{1+f^2}, \quad (3.5)$$

де  $D_{\text{вн}}$  - внутрішній діаметр насіннепровода, мм;

$d$  - умовний діаметр кульової частинки, мм;

$f$  - коефіцієнт тертя насіння об стінку насіннепровода.

Умовний діаметр кульової частинки визначається за формулою [58]:

$$d_y = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}, \quad (3.6)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  - відповідно довжина, ширина і товщина насіння, мм.

Підставивши у формулу (3.5) дані використаних насінин, отримуємо мінімальний діаметр насіннепровода, при якому не буде відбуватися заклинювання насіння, рівний 12 мм.

Для вимірювання швидкості насіння в насіннепроводі 1 встановлюються два фотоелектричних (2 і 3 рис. 3.6) датчики на відстані  $L_0$  один від одного по ходу руху насіння. Кожен датчик складається з інфрачервоного випромінювача і фотоприймача, розміщених навпроти один одного. Для цього в насіннепроводі висвердлюють отвори, в які вставляються фотоелектричні датчики (рис. 3.6).

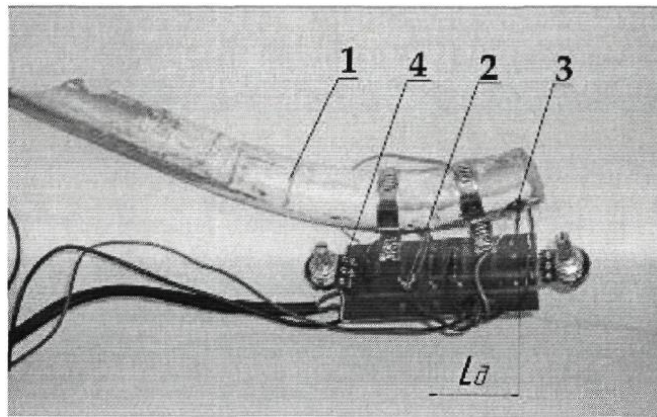


Рисунок 3.6. Експериментальний насіннепровод з датчиками:

1 - експериментальний насіннепровод; 2 - перший датчик; 3 - другий датчик, 4 - блок управління.

У цьому типі датчиків приймач 2 і випромінювач 1 (рис. 3.7) розташовані навпроти один одного таким чином, що світловий потік з випромінювача потрапляє безпосередньо в приймач.

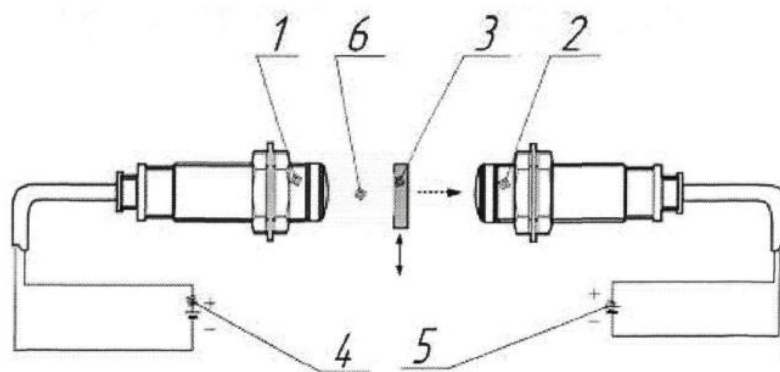


Рисунок 3.7. Схема роботи фотоелектричних датчиків [46]:

1 - випромінювач; 2 - приймач; 3 - об'єкт; 4, 5 - джерело живлення; 6 - світловий потік.

Основним завданням експериментального дослідження було визначення швидкості насіння на виході з насіннепровода.

Налаштування датчиків здійснюється через блок управління 14 (рис. 3.3). Розрахунок інтервалу часу і швидкості насіння на виході з насіннепровода здійснюється за алгоритмом (рис. 3.9), написаного для персонального комп'ютера 15 (рис. 3.3). Результати обробки даних виводяться на монітор персонального комп'ютера.

Процес вимірювання швидкості фотоелектричними датчиками (рис. 3.8) полягає в наступному. Якщо в насіннепровід немає насіння, то інфрачервоне випромінювання випромінювачів потрапляє на відповідні фотоприймачі. Опір фотоприймачів стає невеликим і на виходах датчиків  $U_{вих1}$  і  $U_{вих2}$  формуються сигнали у вигляді логічної одиниці. При прольоті насіння через перший фотоелектричний датчик, потік інфрачервоного випромінювання короткочасно переривається. У цьому випадку опір фотоприймача  $VD2$  різко збільшується і на виході датчика  $U_{вих1}$  формується логічний нуль. Наявність логічного нуля на виході першого датчика забезпечує запуск лічильника таймера. При прольоті насіння через другий фотодатчик на його виході також формується логічний нуль, який зупиняє лічильник системного таймера. Таким чином, вміст лічильника пропорційне часу  $\tau$  прольоту насіння між першим і другим фотоелектричними датчиками. Тоді швидкість насіння визначиться  $L$  як  $v = L/\tau$ . Для забезпечення роботи каналу 2 сигнал GATE2 встановлюється в логічну 1.

Далі записується інформація в керуючий регістр за адресою &H61. Через регістр даних LPT-порту передається логічний нуль з виходу першого датчика, який забезпечує запуск лічильника. В молодший байт регістра лічильника другого каналу за адресою &H42 завантажується число 255.

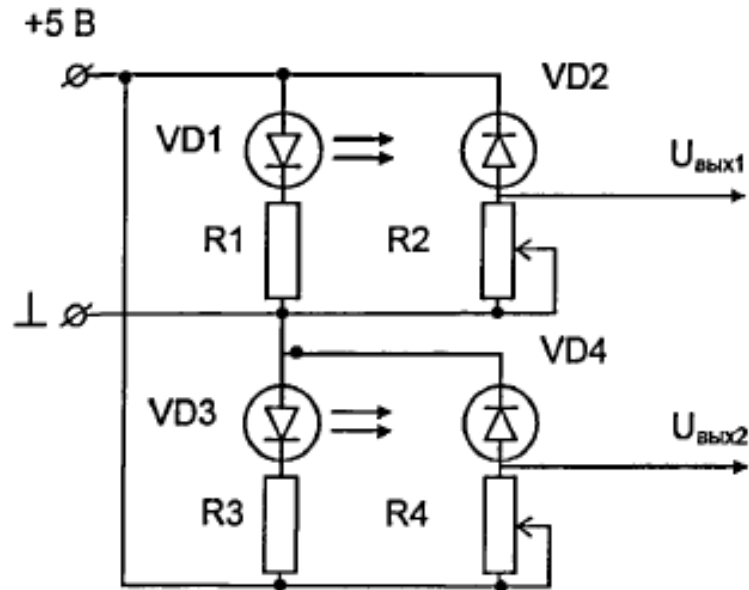


Рисунок 3.8. Схема з'єднань фотоелектричних датчиків.

Відразу після завантаження число 255 записується у внутрішній лічильник. При надходженні на внутрішній лічильник сигналу зовнішнього генератора CLK його вміст зменшиться на 1, наступний сигнал CLK зменшить вміст лічильника ще на одиницю і т.д. Після переходу лічильника через 0 у лічильник знову записується число 255 з регістра лічильника і цикл повторюється.

Таким чином, якщо підрахувати кількість циклів роботи внутрішнього лічильника, то можна визначити тимчасовий інтервал

$$\tau_1 = T_{CLK} \cdot 255K, \quad (3.7)$$

де  $T_{CLK} = 0,84$  мкс - період сигналу CLK.

Тимчасовий інтервал можна визначити за виразом:

$$\tau = \tau_1 + (255 - y) \cdot 0,84, \quad (3.8)$$

де  $y$  - вміст лічильника на момент появи сигналу реакції.

Таким чином, тимчасові інтервали можуть бути обчислені за формулами (3.7), (3.8).

Вихідна інформація параметрів ( $K$  і  $y$ ) для обчислень формується системним таймером. Для обчислення часових інтервалів в секундах значення  $\tau$  необхідно помножити на  $10^{-6}$ .

Методика досліджень процесу руху насіння по насіннепроводу передбачає два етапи виконання лабораторно-експериментальних робіт:

1. На першому етапі досліджується рух насіння по насіннепроводу без прискорювача насіння.

2. На другому етапі досліджується рух насіння по насіннепроводу з прискорювачем насіння, при цьому досліджується тільки рух в прискорювачі насіння з урахуванням вже отриманих результатів на першому етапі досліджень.

Шуканим параметром експериментального висівного апарату з насіннепроводом без прискорювача є швидкість насіння на виході з насіннепроводу (рис. 3.5, а), тобто в кінці ділянки  $2-v_{к2}$ . При дослідженні насіннепроводу без прискорювача, прийнявши інші параметри за постійні, може змінюватися тільки частота обертання висівного диска апарату.

Визначення швидкості насіння на виході з насіннепроводу без прискорювача (рис. 3.5.а) здійснюється датчиків з 13 (рис. 3.3), встановлених на виході з насіннепроводу і проводиться таким чином:

- налаштований на роботу висівний апарат включається без подачі вакууму на апарат;
- за допомогою тахометра ТЧ-10Р (ГОСТ 21339-75) встановлюється необхідна частота обертання висівного диска апарату;
- включається вакуумна установка і вакуум певної величини подається на висівний апарат;
- після стабілізації процесу висіву насіння включається спеціальна програма на ПК і проводиться вимірювання швидкості 100 висіяних насінин системою вимірювання швидкості насіння (рис. 3.3);
- вимикається програма ПК, вимикається вакуумна установка і встановлюється інша частота обертання диска.

Отримана таким чином інформація для різних значень  $\omega$  диска обробляється, при цьому визначається середнє значення швидкості насіння на виході з насіннепроводу, як середньоарифметичне швидкостей 100 поспіль висіяних насінин (див. табл. 4.4). За отриманими даними будується графік

залежності  $v_{к2} == f(\omega)$ .

Вибір основних факторів, що впливають на параметр оптимізації (швидкості насіння на виході з насіннепровода з прискорювачем) проводився на основі апріорної інформації, аналітичних та пошукових досліджень, а також з урахуванням умов експлуатації посівних машин. З теоретичних досліджень випливає, що на швидкість насіння на виході з прискорювача насіннепровода впливають такі фактори:  $x_1$  - швидкість повітряного потоку, верб, що подається в нагнітальний ділянку 2 і прискорювач 3 насіннепровода (рис. 3.3, б);  $x_2$  - довжина прискорювача насіннепровода  $l_3$ ;  $x_3$  - кутова швидкість висівного диска  $\omega$ ,  $x_4$  - радіус розміщення присмоктуються отворів  $R$ ;  $x_5$  - коефіцієнт тертя насіння по насіннепроводу  $f$ ;  $x_6$  - коефіцієнт парусності насіння  $K_n$ ;  $x_7$  - маса насіння посівного матеріалу  $t$ ;  $x_8$  - довжина I ділянки насіннепровода,  $l_1$ ;  $x_9$  - кут сходу насіння з посівного диска,  $\beta$ ;  $x_{10}$  - радіус кривизни II ділянки насіннепровода,  $\rho$ ;  $x_{11}$  - довжина II ділянки насіннепровода,  $l_2$ .

Діапазон варіювання фактора  $x_2$  визначено аналітичним шляхом з урахуванням конструктивного обмеження по довжині прискорювача. Інтервал варіювання фактора  $x_2$  встановлений в діапазоні 0,08...0,16 м з основним рівнем 0,12м та інтервалом варіювання - 0,04 м.

Таблиця 3.1 Основні фактори і рівні їх варіювання

Назва фактору і одиниці вимірювання	Позначення	Рівні факторів			Інтервал варіювання
		Нижній	Основний	Верхній	
$v_e$ - швидкість повітряного потоку в прискорювачі, м/с	$x_1$	8	14	20	6
$l_3$ - довжина прискорювача, м	$x_2$	0, 08	0, 12	0, 16	0, 04
$\omega$ - кутова швидкість висівного диска, рад/с	$x_3$	2	3	4	1

Визначення швидкості насіння на виході з насіннепровода з прискорювачем (рис. 3.5.6) здійснюється датчиками 13, встановленими на виході з насіннепровода і проводиться таким чином:

- налаштований на роботу висівний апарат включається без подачі вакууму на апарат;

- за допомогою тахометра ТЧ-10Р встановлюється частота обертання висівного диска апарату ( $x_3$  - кутова швидкість висівного диска  $\omega$ ) на відповідні рівні (+1, 0, -1) (таблиця 3.1);

- включається вакуумна установка і вакуум певної величини подається на висівний апарат;

- відповідно до матриці планування експерименту (таблиця 3.2) встановлюються основні фактори ( $x_1$  - швидкість повітряного потоку, в прискорювачі насіннепровода;  $x_2$  - довжина прискорювача насіннепровода,  $l_3$ ) на відповідні рівні (+1, 0, -1) (таблиця 3.1);

- після стабілізації процесу висіву насіння включається спеціальна програма на ПК і проводиться вимірювання швидкості 100 висівних насіння системою вимірювання швидкості насіння (рис. 3.3);

- експеримент проводиться по 15 рядків матриці планування (таблиця 3.2) з триразовою повторністю кожного поєднання рівнів факторів.

Швидкість повітряного потоку на виході з насіннепровода визначалася анемометром АПР-2 (діапазон виміру 0,2-2- м/с; межа допустимої похибки вимірювання усередненої швидкості не більше  $\pm(0,2 + 0,05 \cdot V)$  м/с; дискретність індикації повітряного потоку в діапазоні вимірювання швидкості 2...20 м/с - 0,1 м/с) (рис. 3.9).



Рисунок 3.9. Анемометр АПР-2.

### 3.3. Методика проведення польового дослідження

Основною метою проведення польового дослідження є перевірка робочої

гіпотези і визначення якісних показників роботи вдосконаленого висівного апарату в польових умовах.

Посівний агрегат складається з трактора МТЗ-82 та сівалки СУПН-8А. Сівалка укомплектовується 7 серійними і одним вдосконалим висівними апаратами. Показники режимів і якості виконання технологічного процесу висіву насіння кукурудзи вдосконаленою сівалкою в польових умовах визначалися за методикою, описаною в ОСТ 105.1-2000 [50]. Відповідно до [45] точність посіву оцінюється розподілом насіння в рядку, яке характеризується такими показниками:

- заданий інтервал між насінням, см;
- фактичний середній інтервал між насінням, см;
- середньоквадратичне відхилення,  $\pm$  см;
- коефіцієнт варіації, %;
- насіння з інтервалами, передбаченими вихідними вимогами, %.

Основні характеристики процесу висіву насіння кукурудзи, встановлені для проведення польового дослідження, представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Основні характеристики польового дослідження

Найменування показника	Значення
Культура	Гібрид кукурудзи Сплєндіс
Спосіб сівби	пунктирний
Ширина міжряддя, см	70
Задана норма висіву насіння, шт./м (тис.шт./га)	3, 9 (55563)
Агротехнічний крок висіву, см	25, 8
Швидкість посівного агрегату, м/с (км/год)	2, 5 (9)

Розподіл насіння в рядку визначався висівом насіння у відкриту борозну на певній швидкості посівного агрегату із заданою нормою висіву (табл. 3.2).

Перед визначенням показників роботи сівалка повинна пройти налаштування і вихід на стійку роботу на ділянці довжиною 50 м. Для виключення грубих похибок вимірювання приймаємо наступні допущення при

вимірюванні фактичного кроку посіву:

- якщо відстань між сусіднім насінням менше 5 см, то приймаємо це насіння за «двійку» подачі висівного апарату;

- якщо відстань між насінням більше 40 см, то приймаємо це за «нульову» подачу висівного апарату, а отриману відстань ділимо навпіл.

Польові дослідження проводяться вдосконаленою посівною секцією (рис. 3.10, а), з модернізованим сошником (рис. 3.10, б).

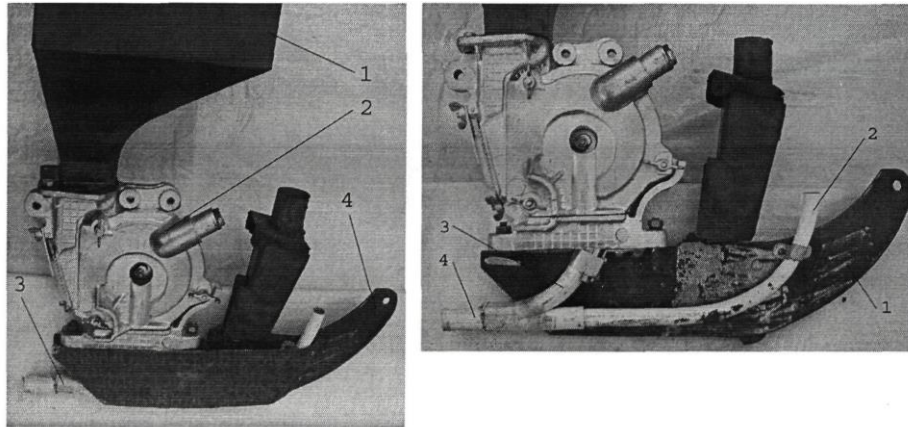


Рисунок 3.10. Посівна секція для проведення польових дослідів:

- а) секція в зборі: 1 - бункер, 2 - пневматичний висівний апарат;  
 3 - насіннепровід з прискорювачем, 4 - модернізований сошник;  
 б) модернізований сошник: 1 - сошник, 2 - патрубок для подачі повітря у прискорювач 4; 3- насіннепровід.

Польовий дослід проводиться в такій послідовності:

- поле, підготовлене до посіву просапних культур відповідно до агротехнічних вимог;

- на досліджуваній посівній секції знімаємо загортачі і прикочувальні колеса для утворення відкритої борозни;

- сошники встановлюємо на мінімальну глибину загортання насіння, налаштуємо і виводимо сівалку на стійку роботу зі швидкістю 9 км/год (2,5 м/с) на ділянці довжиною 50 м;

- виконуємо прохід сівалкою контрольної ділянки не менше 30 м.

- на контрольній ділянці здійснюємо висів насіння кукурудзи базовим і

експериментальними (в насіннепровод без прискорювача або з прискорювачем) пневматичними апаратами на сталому режимі руху сівалки. Для проведення дослідів експериментальним висівним апаратом з насіннепроводом-прискорювачем необхідно попередньо забезпечити подачу повітря в патрубок 5 прискорювача насіннепровода (рис. 3.11), швидкість повітряного потоку при цьому повинна складати 15 м/с, величина якої визначається за допомогою анемометра (рис. 3.10).

#### 4. Результати експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження відповідно до поставлених завдань зводилися до вивчення окремих властивостей посівного матеріалу (насіння кукурудзи), поведінки насіння після удару об ґрунт, а також пошуку геометричних параметрів насіннепровода, включеного в конструкцію апарату сівалки СУПН-8А, дослідженню впливу різних факторів, що визначають швидкість насіння на виході з насіннепровода.

##### 4.1 Результати дослідження властивостей посівного матеріалу

Згідно з методикою досліджень (розділ 3.4.1) визначено властивості насіння, необхідні для проведення експериментальних досліджень:

- маса 1000 насінин становить 0,31 кг (таблиця 4.1);
- середня швидкість польоту насіння  $v_{кр} = 10,4$  м/с;
- коефіцієнт тертя спокою насіння об поверхню насіннепровода склав  $f_{ст} = 0,36$ ;
- коефіцієнт тертя руху насіння об поверхню насіннепровода склав  $f = 0,25$ .

Результати проведених дослідів по визначенню маси 1000 насінин, представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Маса 1000 насінин кукурудзи

Сорт	Повторність	Маса 1000 насіння	Маса 1000 насіння (сер. знач.), кг	Середнє квадратичне відхилення $\sigma$ , кг	Коефіцієнт варіації $V$ , %
середньостиглий гібрид кукурудзи Сплендіс	1	0,319	0,31	0,028	8,9
	2	0,279			
	3	0,332			

Коефіцієнт тертя спокою насіння об поверхню насіннепроводу визначався за методикою, описаною в розділі 3.4.1. Визначено значення кутів тертя (кут  $\delta$  рисунок 3.8) для 50 шт. насіння з триразовою повторністю, результати оброблені із застосуванням статистичного методу (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2. Числові характеристики кута тертя насіння кукурудзи по насіннепроводу

Інтервал, град.	19,65- 20,45	20,45- 21,25	21,25- 22,05	22,05- 22,85	22,85- 23,65	23,65- 24,45	24,45- 25,25
Середина інтервалу, град.	20,05	20,85	21,65	22,45	23,25	24,05	24,85
Частота, шт.	16	20	28	39	26	12	9
Дослідна вірогідність	0,107	0,133	0,187	0,260	0,173	0,080	0,060

Побудована гістограма, диференціальна і інтегральна криві розподілу значень кута тертя насіння кукурудзи об дно насіннепроводу (рис. 4.1).

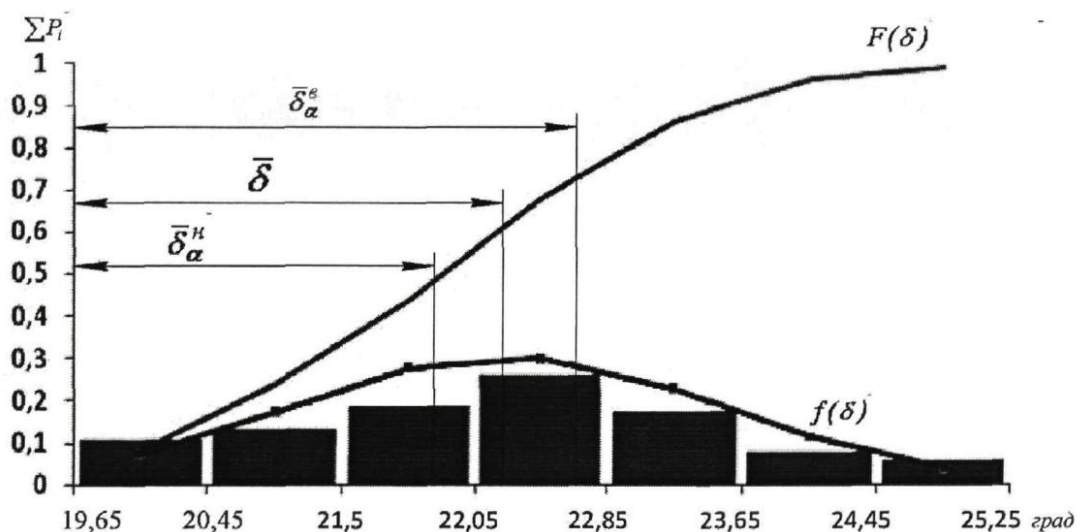


Рисунок 4.1. Гістограма, диференціальна і інтегральна криві розподілу значень кута тертя насіння кукурудзи по дну насіннепроводу.

Визначено числові характеристики статистичного ряду: середнє значення кута тертя ( $\bar{\delta} = 22,24$  град.), середнє квадратичне відхилення ( $\sigma = 1,3$  град.), коефіцієнт варіації ( $V = 0,5$ ). Розподіл кута тертя насіння кукурудзи об дно

насіннєпроводу підпорядковується закону нормального розподілу (ЗНР). З урахуванням критерію Стьюдента, табличне значення якого при  $\alpha = 0,95$  становить  $t = 1,956$ , верхній і нижній рівні варіювання середнього значення відповідно рівні:  $\bar{\delta}_\alpha^u = 21,88$ ;  $\bar{\delta}_\alpha^s = 22,6$ . Кут тертя насіння кукурудзи по насіннєпроводу становить  $= 22^\circ 14' \pm 21'$ .

На основі отриманого середнього значення кута тертя визначили статичний коефіцієнт тертя насіння по насіннєпроводу за формулою (3.1), який склав  $f_{cm} = 0,36$ . Динамічний коефіцієнт тертя руху насіння об поверхню насіннєпроводу склав  $f_d = 0,25$ .

#### 4.2. Результати досліджень удару насіння об ґрунт в серійній просапній сівалці

Насіння яке вийшло з висівного диска серійної сівалки, як зазначалося в розділі 2.1, вільно падає на дно посівної борозни, відчуваючи при цьому косий удар. Поведінка насіння після удару його об ґрунт залежить від багатьох факторів, але найбільш значущими є швидкість і кут падіння, яким вважається кут між вектором швидкості і вертикаллю.

Експериментальні дослідження з визначення відскоку в момент падіння насіння проводилися на лабораторній установці (рис. 3.2) за методикою, описаною в розділі 3.4.2.

Кут падіння насіння встановлювався поворотом рухомої частини приладу з трубкою (рис. 3.4) з матеріалу, з якого виготовлений і насіннєпровід. Величина швидкості визначалася довжиною  $L$  трубки  $b$  при заданому куті падіння  $\gamma$  за формулою (3.5), при цьому висота падіння насіння встановлювалася рівною 20 мм. Дана установка дозволила імітувати процес входження насіння в ґрунт після сходу його з висівного диска серійної просапної сівалки (типу СУПН) і вільного переміщення в сошниковому просторі, тобто процес входження насіння в ґрунт з певною швидкістю і кутом падіння (рис. 2.1).

Дослідження зводилися до візуального спостереження і фіксації явища відскоку насіння від ґрунту при різних швидкостях насіння і різних кутах падіння, при цьому отримані результати дослідження відзначалися в таблиці 4.3. (Знаком «+» зазначалося наявність відскоку, а знаком «-» - відсутність відскоку).

Таблиця 4.3. Інформація про наявність відскоку насіння від поверхні ґрунту при різних значеннях швидкості  $v_c$  і кутах падіння  $\gamma$

Швидкість падіння $v_c$	Кут падіння $\gamma$ , рад				
	40°	45°	50°	55°	60°
0,5	-	-	-	-	-
1,0	-	-	-	-	-
1,5	-	-	+	+	+
2,0	+	+	+	+	+
2,5	+	+	+	+	+
3,0	+	+	+	+	+

За даними таблиці 4.3 побудована крива умовного розмежування областей наявності або відсутності явища відскоку насіння в залежності від його швидкості  $v_c$  і кута падіння  $\gamma$  (рис. 4.2).

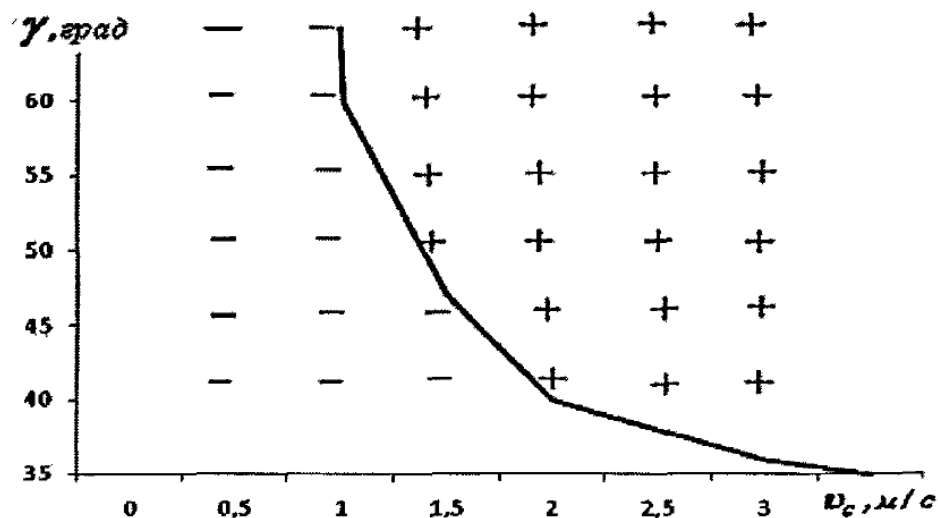


Рисунок 4.2. Діаграма зон відскоку насіння від дна борозни при різних швидкостях насіння  $v_c$  і кутах його падіння  $\gamma$ .

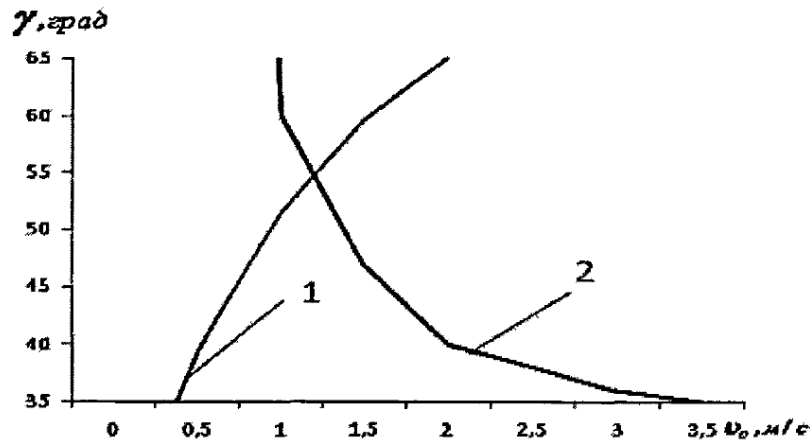


Рисунок 4.3. Положення межі відскоку насіння в залежності від швидкості сівалки  $v_a$  і кута падіння  $\gamma$ :

1 - крива, яка характеризує залежність кута падіння  $\gamma$  насіння на дно борозни від швидкості посівного агрегату  $v_a$ ; 2 - крива, що характеризує явище виникнення відскоку при різних  $v_a$  і  $\gamma$ .

Поєднавши теоретичні і експериментальні графіки (рис. 2.2 і 4.2) залежності кута падіння  $\gamma$  насіння на дно борозни від швидкості посівного агрегату  $v_a$  (рис. 4.3), можна зробити висновок, що при сівбі насіння кукурудзи серійною сівалкою СУПН-8А на швидкості посівного агрегату більше 1,2 м/с (точка перетину кривої 1 і кривої 2) виникає відскокування насіння від дна борозни або значні зсуви (більше 2 см) насіння відносно місця його падіння на дно борозни, що підтверджує теоретичні висновки про наявність явища відскоку насіння. Аналіз рисунка 4.3 підтверджує аналітичні дослідження, наведені в розділі 2.1, що для зменшення негативного впливу відскоку необхідно, щоб вектор швидкості насіння прагнув до вертикалі ( $\gamma \rightarrow 90^\circ$ ), тоді на робочих швидкостях посівного агрегату (3-9 км/год) ми потрапляємо в зону відсутності відскоку.

Крок сівби насіння  $l_c$  (відстань між сусіднім насінням в рядку) визначається з урахуванням заданої норми висіву  $Q_3$  (шт./га) за формулою [30]:

$$l_c = \frac{10^4}{v_m Q_3}, \text{ м}, \quad (4.1)$$

де  $v_m$  - ширина міжрядь, м.

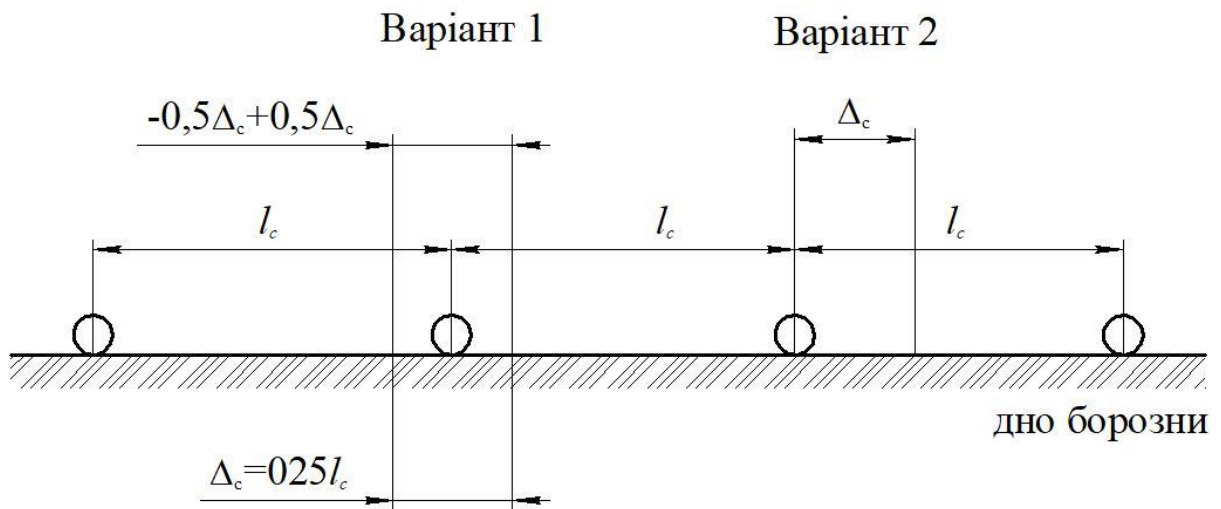


Рисунок 4.4. Розподіл насіння просапних культур в рядку.

В ході досліджень удару насіння об ґрунт на лабораторній установці (рис. 3.2) при різних швидкостях руху агрегату і кутах падіння насіння фіксувалися величини відскоку  $\Delta$  для 50 насінин. Результати проведених досліджень оброблені статистичними методами, побудовані графічні залежності накопичених дослідних ймовірностей розподілу насіння по інтервалах відскоку при різних швидкостях агрегату і кутах  $\gamma$  падіння (рис. 4.5, 4.6, 4.7). Величини отриманих значень відскоку насіння від дна борозни порівнювалися зі значеннями допустимих відхилень ( $\Delta_{c1} = 3,95$  см і  $\Delta_{c2} = 3,21$  см).

Допустимі значення відхилень визначалися в наступній послідовності:

- знаючи норму висіву насіння кукурудзи (для лісостепу ця норма коливається в межах від 45000 до 55563 шт./га) визначили інтервал варіювання кроку посіву: від 31,7 см до 25,7. Відповідно до агротехнічних вимог до посіву кукурудзи, відхилення від заданого інтервалу між насінням в рядку не повинні перевищувати 0,25 його величини [61], тобто  $\Delta_c = 0,25l_c$ . Значення цих відхилень  $\Delta_{c1} = 7,9$  см і  $\Delta_{c2} = 6,42$  см;

- приймає припущення, що розподіл насіння в рядку підпорядковується нормальному закону, тобто величина розкиду симетрична відносно точки приземлення при нормативних значеннях кроку посіву  $\Delta_c = \pm 0,5\Delta$ :  $\Delta_{c1} = \pm 3,95$  см і  $\Delta_{c2} = \pm 3,21$  см (рис. 4.4 варіант 1).

За результатами експериментальних досліджень побудовані графіки накопичених дослідних ймовірностей розподілу насіння по інтервалах величини відскоку при різних кутах падіння і певних швидкостях насіння (рисунки 4.5, 4.6, 4.7).

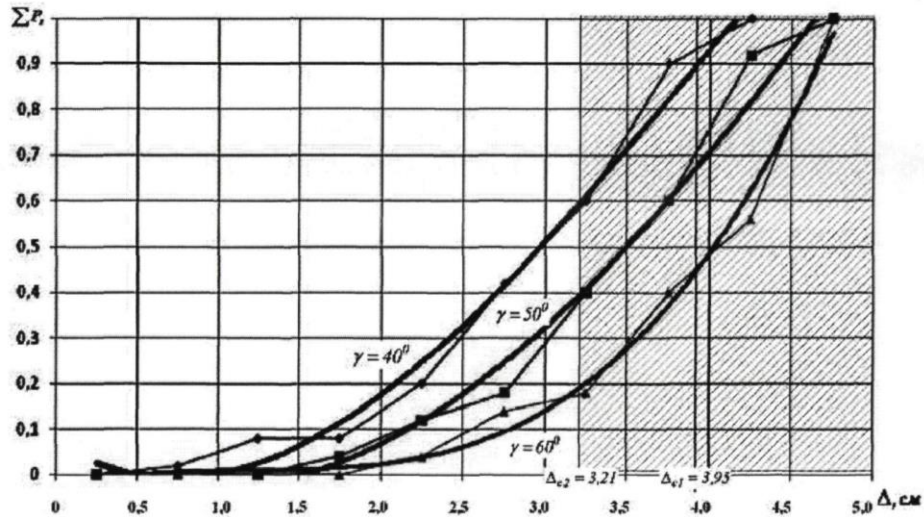


Рисунок 4.5. Графік накопичених дослідних ймовірностей розподілу насіння по інтервалах величини відскоку при різних кутах падіння при швидкості падіння насіння 2,5 м/с.

Аналіз графіка 4.5 показує, що при імітації процесу падіння насіння кукурудзи зі швидкістю 2,5 м/с в серійних просапних сівалках значення величини відскоку більше допустимого ( $\Delta_{c2} = 3,21$  см) і залежить від кута падіння: 40% насіння при  $\gamma = 40^\circ$ , 60% насіння при  $\gamma = 50^\circ$ , 80% - при  $\gamma = 60^\circ$ .

При швидкості падіння насіння 2 м/с (рис. 4.6) спостерігалися наступні результати (за інших рівних умов): 2% насіння при  $\gamma = 40^\circ$ , 60% насіння при  $\gamma = 50$ , 60% - при  $\gamma = 60^\circ$  мали відскокування більше допустимого значення  $\Delta_{c2} = 3,21$  см.

Зменшення швидкості падіння насіння до 1,5 м/с призводить до зменшення значень величин відскоків, котрі виходять за межі допустимого агротехнічними вимогами значення ( $\Delta_{c2} = 3,21$  см): 0% насіння при  $\gamma = 40^\circ$ , 2% насіння при  $\gamma = 50^\circ$  і 60% - при  $\gamma = 60^\circ$ .

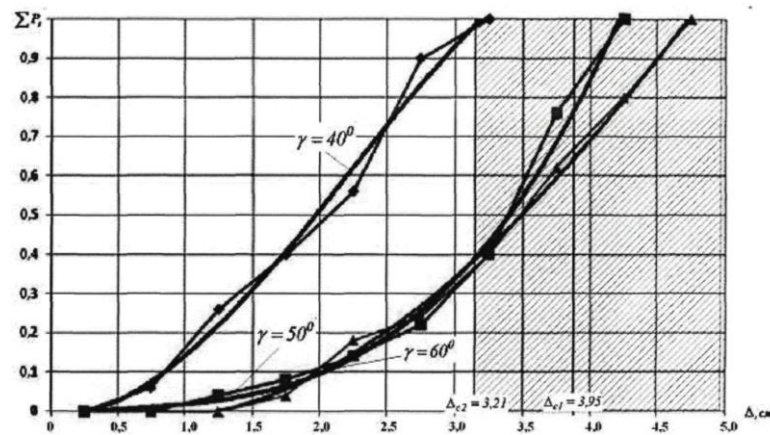


Рисунок 4.7. Графік накопичених дослідних ймовірностей розподілу насіння по інтервалах величини відскоку при різних кутах падіння при швидкості падіння насіння 1,5 м/с.

Якщо прийняти умову, що насіння в момент приземлення зміщується в бік руху на величину  $\Delta_c$  на 6,42...7,9 см (рис. 4.4. варіант 2), тоді 100% значень відскоку насіння при всіх проведених дослідженнях (рис. 4.5, 4.6, 4.7) не перевищують допустимі значення відхилень від заданих інтервалів між насінням.

На підставі вищевикладеного зроблено висновок: зменшити величину відскоку насіння в борозні можна знизивши швидкість падіння насіння (до 1,5 м/с) і кут падіння  $\gamma$  до нуля (тобто забезпечити рівність горизонтальної складової швидкості насіння в момент викиду з висівного апарату і швидкості руху агрегату).

#### 4.3. Дослідження процесу руху насіння по насіннепроводу

Визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів насіннепроводу з прискорювачем насіння.

Відповідно до методики досліджень (розділ 3.4.3), процесу руху насіння по насіннепроводу передбачає два етапи виконання лабораторно-експериментальних робіт: на першому етапі досліджується рух насіння по насіннепроводу без прискорювача насіння; на другому етапі - рух насіння по насіннепроводу з прискорювачем насіння.

На першому етапі експериментальних досліджень поводилось налаштування лабораторної установки (рис. 3.2) відповідно до описаної методики (розділ 3.4.3). Результати досліджень представлені як середньоарифметичне значення швидкості насіння на виході з насіннепровода 100 поспіль висіяних насінин (див. таблицю 4.4). При проведенні експериментальних досліджень руху насіння по насіннепроводу без прискорювача в якості постійних прийняті наступні параметри:  $K_n = 0,09 \text{ м}^{-1}$ ;  $h_2 = 0,005 \text{ М}$ ;  $\beta = 20^\circ$ ;  $f = 0,25$ ;  $R = 0,06 \text{ м}$ .

Таблиця 4.4. Швидкість насіння на виході з насіннепровода без прискорювача при різних значеннях кутової швидкості посівного диска

Кутова швидкість висівного диска, $\omega$ , рад/с	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Швидкість насіння на виході з насіннепровода без прискорювача (теоретичне), $v_{K2}$ м/с	1,1893	1,1897	1,19	1,1903	1,1907	1,191	1,1913
Швидкість насіння на виході з насіннепровода без прискорювача (експериментально), $v_{K2}$ м/с	1,1882	1,1887	1,1893	1,1906	1,1909	1,1919	1,1921

За отриманими даними побудували графік залежності  $v_{K2} = f(\omega)$  (рис. 4.8).

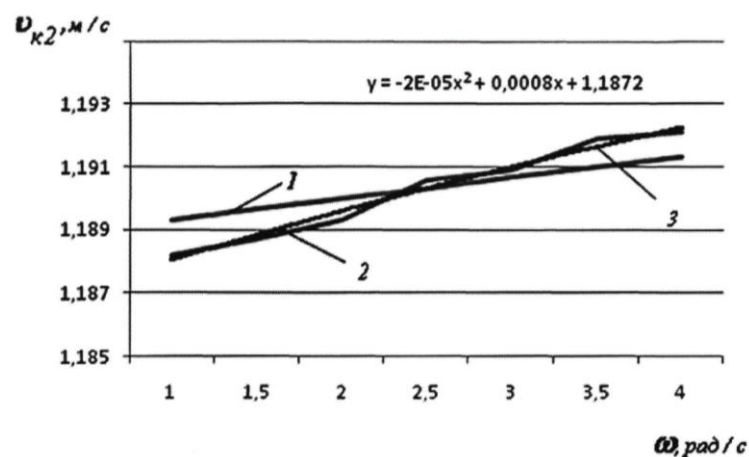


Рисунок 4.8. Залежність швидкості насіння на виході з насіннепровода без прискорювача від кутової швидкості посівного диска:

1 - теоретична крива; 2 - експериментальна крива; 3 - апроксимуюча крива.

При дослідженні руху насіння по насіннепроводу з прискорювачем (рис. 3.3, б) (другий етап досліджень) використана методика визначення основних параметрів експериментального насіннепроводу. Для вирішення цього завдання проведено трифакторний експеримент з використанням некомпозиційного трирівневого плану другого порядку Бокса-Бенкіна [15, 47, 62], матриця і результати якого представлена в таблиці 4.5.

Як параметр оптимізації прийнята швидкість насіння на виході з насіннепроводу  $v_{кз}$ , адекватно узгоджується зі швидкістю посівного агрегату.

Таблиця 4.5. Матриця плану Боксу-Бенкіна і результати дослідів трифакторного експерименту

Номер дослідів	Рівні варіювання факторів і їх взаємодії									Значення параметрів оптимізації $y$ , м/с
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x^2_1$	$x^2_2$	$x^2_3$	$y$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	+	+	0	+	0	0	+	+	0	3,498
2.	+	-	0	-	0	0	+	+	0	2,672
3.	-	+	0	-	0	0	+	+	0	1,792
4.	-	-	0	+	0	0	+	+	0	1,587
5.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,312
6.	+	0	+	0	+	0	+	0	+	3,163
7.	+	0	-	0	-	0	+	0	+	3,161
8.	-	0	+	0	-	0	+	0	+	1,679
9.	-	0	-	0	+	0	+	0	+	1,678
10.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,389
11.	0	+	+	0	0	+	0	+	+	2,656
12.	0	+	-	0	0	-	0	+	+	2,649
13.	0	-	+	0	0	-	0	+	+	2,060
14.	0	-	-	0	0	+	0	+	+	2,059
15.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,384

Значення параметра оптимізації  $y$  (таблиця 4.5) отримані на основі статистичної обробки результатів експерименту (таблиці 4.6, 4.7) за методикою, описаною в розділі 3.

Таблиця 4.6. Швидкість насіння на виході з насіннепровода, висіяних експериментальним висівним апаратом в паралельних дослідах, м/с.

Номер	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_{cp}$
1	2	3	4	5
1.	3,489	3,491	3,513	3,498
2.	2,691	2,643	2,682	2,672
3.	1,784	1,801	1,79	1,792
4.	1,593	1,576	1,591	1,587
5.	2,314	2,319	2,303	2,312
6.	3,21	3,129	3,151	3,163
7.	3,211	3,101	3,171	3,161
8.	1,652	1,712	1,672	1,679
9.	1,651	1,711	1,673	1,678
10.	2,369	2,399	2,4	2,389
11.	2,678	2,657	2,634	2,656
12.	2,674	2,643	2,629	2,649
13.	2,041	2,069	2,071	2,060
14.	2,063	2,047	2,068	2,059
15.	2,397	2,381	2,389	2,389

Таблиця 4.7. Характеристики середньої швидкості насіння на виході з насіннепровода по рядках матриці планування

№	Середня швидкість насіння, $v_{cp}$ , м/с	Дисперсія $\sigma^2_i$ , м/с.	Середньо-квдратичне відхилення, $\sigma$ , м/с.	Коефіцієнт варіації, $V$ , %	Абсолютна похибка, $e_0$ , м/с.	Відносна похибка, $\varepsilon$ , %
1.	3,498	0,0001773	0,0133	0,4100	0,0330	1,0168
2.	2,672	0,0006510	0,0255	0,9549	0,0633	2,3681
3.	1,792	0,0000743	0,0086	0,5315	0,0214	1,3182
4.	1,587	0,0000863	0,0093	0,6069	0,0230	1,5051
5.	2,312	0,0000670	0,0082	0,3439	0,0203	0,8529
6.	3,163	0,0017543	0,0419	1,3242	0,1039	3,2840
7.	3,161	0,0031000	0,0557	1,7614	0,1381	4,3683
8.	1,679	0,0009333	0,0306	1,8196	0,0758	4,5125
9.	1,678	0,0009213	0,0304	1,8089	0,0753	4,4861
10.	2,389	0,0003103	0,0176	0,7499	0,0437	1,8599
11.	2,656	0,0004843	0,0220	0,8286	0,0546	2,0549
12.	2,649	0,0005303	0,0230	0,8680	0,0571	2,1527
13.	2,060	0,0002813	0,0168	0,8142	0,0416	2,0193
14.	2,059	0,0001203	0,0110	0,5328	0,0272	1,3213
15.	2,389	0,0000640	0,0080	0,3394	0,0198	0,8417

Результати обчислення значень порядкової дисперсії для параметра оптимізації наведені в таблиці 4.7. Оцінка однорідності дисперсій проводилася за критерієм Кохрена [47, 62].

Результати перевірки гіпотези однорідності дисперсій, наведені в таблиці 4.8, підтвердили при 5% рівні значущості, достовірність отриманих значень параметра оптимізації і відсутність грубих помилок при проведенні експерименту.

Таблиця 4.8. Результати перевірки однорідності дисперсій для параметрів оптимізації експериментального висівного апарату

Параметр оптимізації, м/с	Значення критерію Кохрена	
	дослідні	табличні
У	0,324	0,3346

За даними таблиці 4.6 отримане значення дисперсії відтворюваності ( $\sigma_{\text{вос}}^2 = 0,00063$ ) є середньою по всім дослідом дисперсією, характеризує внутрішню стабільність і керованість досліджуваного об'єкта.

Коефіцієнти регресії (таблиця 4.9) визначені за методикою [47, 62].

Таблиця 4.9. Значення коефіцієнтів регресії і значень критерію Стьюдента

Позначення коефіцієнтів	у		
	Значення коефіцієнтів	Розрахункове значення критерію $t_i$ Стьюдента	Табличне значення $t_{\text{табл}}$ критерію Стьюдента
$b_0$	2,3633	626,5429	2,12
$b_1$	0,7205	191,0116	
$b_2$	0,2779	73,66739	
$b_3$	0,0014	0,364526	
$b_{12}$	0,1538	40,76063	
$b_{13}$	0,0002	0,066277	
$b_{23}$	0,0015	0,397665	
$b_{11}$	0,0433	11,48809	
$b_{22}$	-0,0209	5,54521	
$b_{33}$	0,0136	3,601075	

Для коефіцієнтів регресії (таблиця 4.9) середнє відхилення склало 0,0037. Значимість коефіцієнтів регресії перевірена за допомогою критерію Стюдента, табличне значення якого при  $\alpha = 0,95$ , складають  $t = 2,12$ . З отриманих даних критерію Стюдента видно, що коефіцієнти  $b_3$ ,  $b_{13}$  і  $b_{23}$  можна прийняти незначущими.

Наочно визначити ступінь впливу факторів на параметр оптимізації можна по діаграмі Парето (рис. 4.9), з якої випливає, що фактор  $x_1$  має найбільший вплив на швидкість насіння на виході з насіннепровода з прискорювачем (параметр оптимізації  $y$ ), фактор  $x^2_1$  має найменший вплив на параметр оптимізації при 5% рівні значимості.

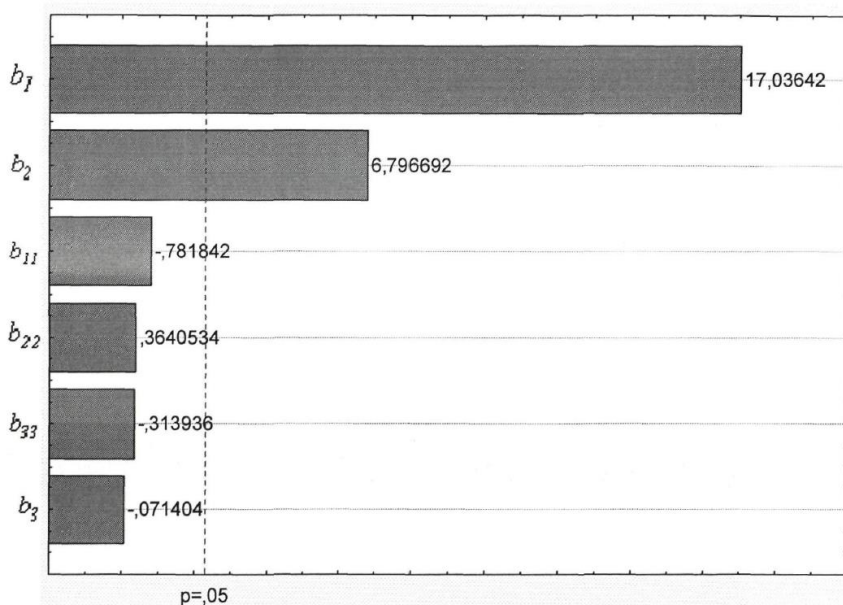


Рисунок 4.9. Діаграма Парето для оцінки ступеня впливу факторів на параметр оптимізації.

З урахуванням значень і значущості коефіцієнтів регресії отримана модель процесу висіву насіння кукурудзи із застосуванням насіннепровода з прискорювачем, рівняння регресії, яких характеризують залежність  $y$  від факторів  $x_1$ ,  $x_2$  і  $x_3$ .

$$y = 2,3633 + 0,7205x_1 + 0,2779x_2 + 0,1538x_1x_2 - 0,0433x^2_1 - 0,0209x^2_2 + 0,0136x^2_3 . \quad (4.2)$$

Рівняння встановлює залежність між параметром оптимізації - швидкістю насіння на виході з насіннепровода з прискорювачем ( $y$ ) від швидкості повітряного потоку  $x_1$  довжини прискорювача насіннепровода  $x_2$  і кутової швидкості висівного диска  $x_3$ .

Рівняння регресії після розкодування має вигляд:

$$v_{кз} = 0,6315 + 0,0770v_e - 0,9983l_3 + 0,6408v_e l_3 - 0,0012v_e^2 - 13,0625l_3^2 + 0,0136\omega^2. \quad (4.3)$$

Адекватність цієї математичної моделі перевірена за критерієм Фішера [41]. Встановлено, що отримана математична модель - адекватна (табл. 4.10).

Таблиця 4.10. Результати розрахунків перевірки адекватності апроксимуючого полінома поверхні відгуку

Параметр оптимізації	Дисперсія адекватності $\sigma^2_{ад}$	Значення критерію Фішера	
		Розрахункове $F_p$	Табличне $F_m$
$y$	0,0031	1,85	2,3

Геометричною інтерпретацією математичної моделі є поверхні відгуку, представлені на рисунках 4.10, 4.11, 4.12. Двовимірні перерізи поверхонь відгуку представлені на рисунках 4.11, 4.13, 4.15.

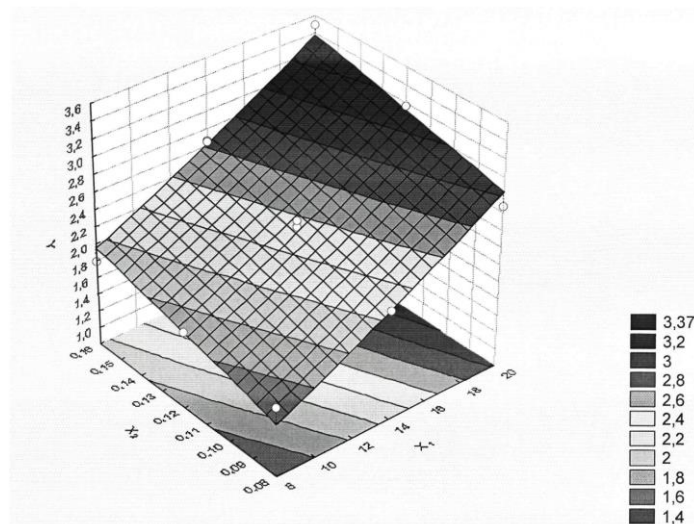


Рисунок 4.10. Залежність швидкості насіння на виході з насіннепровода у від швидкості повітряного потоку  $x_1$  і довжини прискорювача  $x_2$  при постійній кутовій швидкості висівного диска  $\omega = 3$  рад/с ( $x_3 = 0$ ).

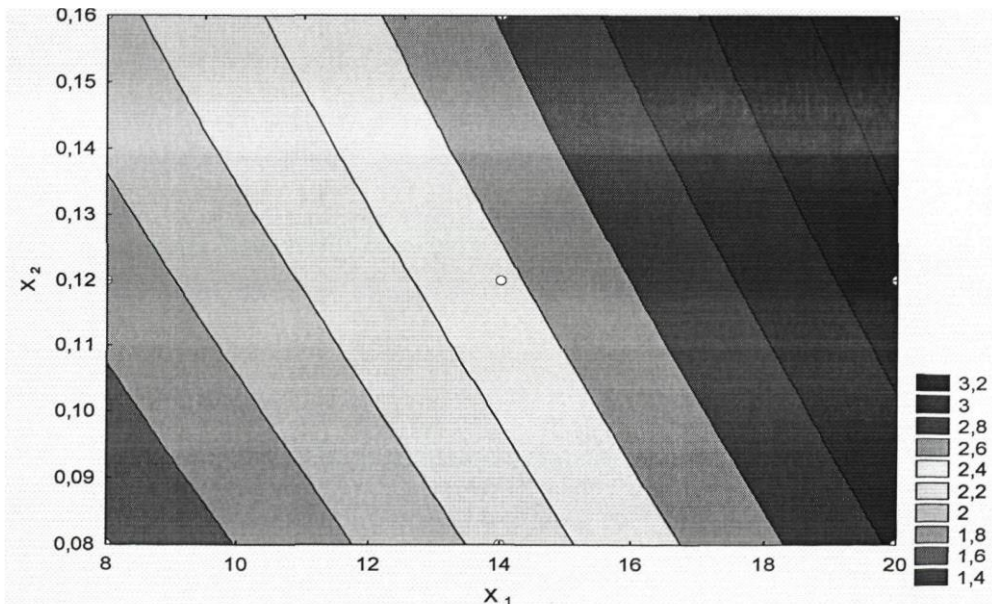


Рисунок 4.11. Ізолінії швидкості насіння на виході з насіннєпровода у при  $x_3 = 0$  ( $\omega = 3$  рад/с).

З аналізу рівнянь і ізоліній рівного відгуку слідує:

- кутова швидкість висівного диска  $\omega$  незначно впливає на зміну швидкості насіння на виході з прискорювача насіннєпровода ( $v_{к3}$ ), тому в практичних розрахунках можна приймати її за величину постійну. Оскільки від частоти обертання диска залежить якість дозування висівним апаратом, то її числове значення визначається з урахуванням цієї умови і становить  $\omega = 2,5 \dots 3$  рад/с;

- вплив довжини прискорювача насіннєпровода  $l_3$  на параметр оптимізації ( $v_{к3}$ ) найбільш динамічно проявляється в межах 0,06...0,13 м. Подальше збільшення цього фактора позначається в меншій мірі. Для сівалки СУПН з урахуванням конструктивних особливостей, приймаємо довжину прискорювача  $l_3 = 0,12$  м;

- швидкість повітряного потоку  $v_6$  в прискорювачі насіннєпровода, є найбільш значущим фактором і для забезпечення параметра оптимізації в межах 2...3,5 м/с повинен варіюватися в діапазоні 10...20 м/с при довжині прискорювача насіннєпровода  $l_3 = 0,12$  м (рекомендовано для сівалки СУПН-8А).

#### 4.4. Результати проведення польових дослідів

Польові досліді проводилися посівним агрегатом, що складається з трактора МТЗ-82 та сівалки СУПН-8А (рис. 4.16). Сівалка укомплектовувалася сімома серійними 1 і однією вдосконаленою 2 посівними секціями.



Рисунок 4.16. Посівний агрегат для проведення польових дослідів:

1 - серійний висівний апарат СУПН, 2 - вдосконалений висівний апарат з насіннєпроводом.

За результатами обробки статистичних рядів розподілу інтервалів між насінням, висіяним базовим і експериментальними (насіннєпроводом без прискорювача і з прискорювачем) пневматичними апаратами (рис. 4.17), побудовані графіки розподілу кроку посіву для кожного варіанта експерименту (рис. 4.18, 4.19, 4.20).



Рисунок 4.17. Розподіл насіння кукурудзи в рядках:

1 - серійний висівний апарат СУПН, 2 - вдосконалений висівний апарат з насіннєпроводом із прискорювачем.

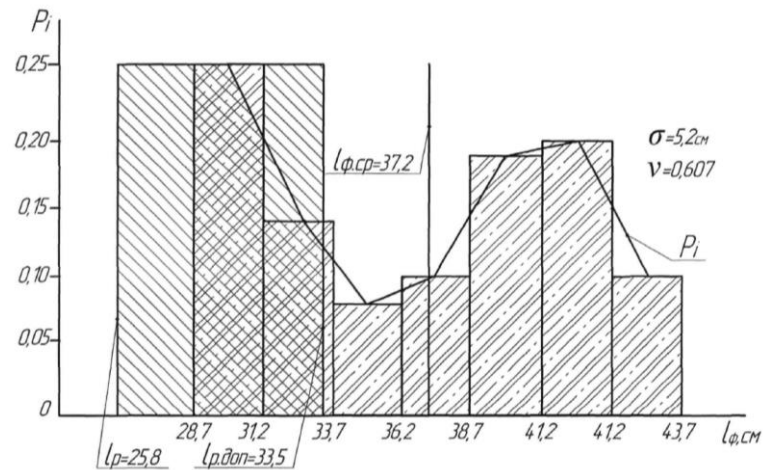


Рисунок 4.18. Гістограма і дослідна ймовірність розподілу фактичного інтервалу між насінням кукурудзи, висіяним серійним висівним апаратом сівалки СУПН-8А.

Аналіз графіків (рис. 4.18) показує, що фактичні інтервали розподілу насіння кукурудзи в рядку при висіві їх серійним апаратом СУПН-8А варіюють від 28,7 см до 43,7 см, середнє значення становить 37,2 см, що на 3,7 см перевищує агротехнічні норми на посів кукурудзи (діапазон нормативного відхилення агротехнічного кроку висіву -  $\pm 30\%$  від заданого) [61], крім того всього 32% насіння з інтервалами, передбаченими вихідними вимогами (при нормативі - не менше 85%) (таблиця 4.11).

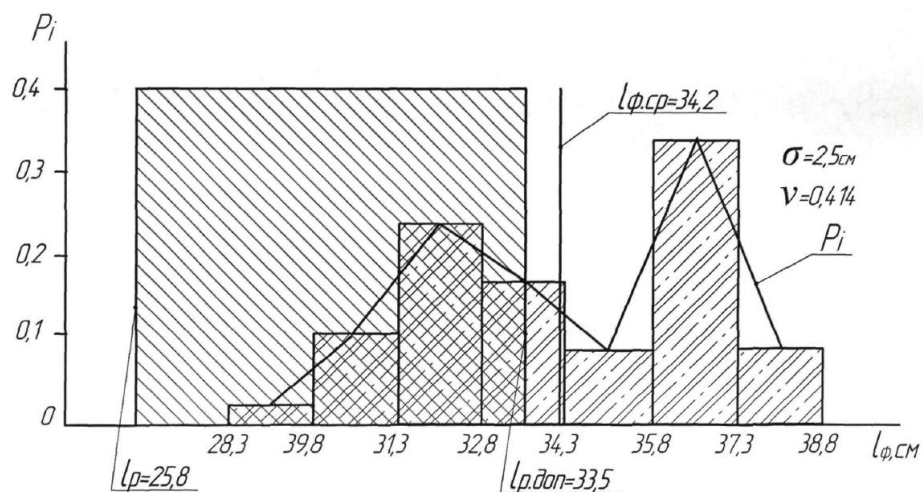


Рисунок 4.19. Гістограма і дослідна ймовірність розподілу фактичного інтервалу між насінням кукурудзи, висіяним удосконаленим висівним апаратом з насіннепроводом без прискорювача.

З аналізу гістограми і дослідної ймовірності (рис. 4.19) розподілу фактичного інтервалу між насінням кукурудзи, висіяним удосконаленим висівним апаратом з насіннепроводом без прискорювача, слідує, що середнє значення фактичного кроку висіву становить 32,4 см, коефіцієнт варіації дорівнює 41,4%, при цьому 52% насіння з інтервалами, що не перевищують значення, обмежене агротехнічними вимогами ( $18 \leq l_\phi \leq 33,5$ ) (таблиця 4.11).

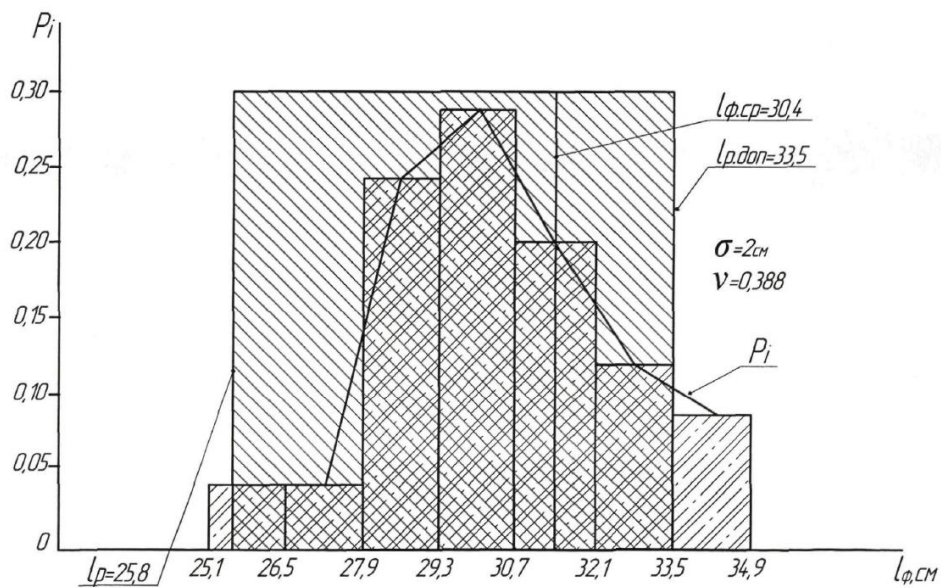


Рисунок 4.20. Гістограма і дослідна ймовірність розподілу фактичного інтервалу між насінням кукурудзи, висіяним удосконаленим висівним апаратом з насіннепроводом із прискорювачем.

Статистична обробка отриманих в результаті польового дослідження фактичних інтервалів між насінням кукурудзи, висіяних удосконалювати висівним апаратом з насіннепроводом із прискорювачем, показала, що середнє значення фактичного кроку висіву становить 30,4 см, коефіцієнт варіації дорівнює 38,8%, при цьому 92% насіння має відстань між насінням в межах  $18 \leq l_\phi \leq 33,5$  (таблиця 4.11).

Показники якості роботи базового та експериментальних висівних апаратів в польових умовах представлені в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11. Показники якості виконання технологічного процесу висіву насіння кукурудзи в польових умовах (при швидкості агрегату 2 м/с)

Показник	Значення показника			
	по ТУ	за даними випробувань		
		Вдосконалений висівний апарат без прискорювача	Вдосконалений висівний апарат з прискорювачем	Висівний апарат сівалки СУПН-8А
Дата	-	02.04.17		
Місце проведення випробувань		ФГ «Сад»		
Норма висіву насіння, шт./м: - задана - фактичний висів	3...7	3,89 2,92	3,89 3,29	3,89 2,69
Розподіл рослин в рядку: - розрахунковий інтервал між рослинами (встановлений на сівалці інтервал розподілу насіння в рядку), см	-//-	25,7	25,7	25,7
- фактичний середній інтервал між насінням, см	-//-	34,2	30,4	37,2
- середньоквадратичне відхилення, ± см	-//-	2,5	2	5,2
- коефіцієнт варіації, %	-//-	41,4	38,8	60,7
Діапазон нормативного відхилення агротехнічного кроку висіву, см	± 30% от заданого	18..33,5	18...33,5	18...33,5
Середнє значення відхилення фактичного кроку від розрахункового (min...max), см	-//-	7,8 (3,3...12,8)	4,58 (0,13...9)	12 (4,2...20,5)
Насіння з інтервалами, передбаченими вихідними вимогами, %	не менше 85	52	92	32

Аналіз таблиці 4.11 показав, що фактичні середні інтервали між насінням кукурудзи при висіві пневматичним апаратом з насіннепроводом без прискорювача складають 34,2 см, з насіннепроводом із прискорювачем - 30,4 см, що вище розрахункового кроку посіву (25,7 см). За даними польового дослідження встановлено, що ні серійний висівний апарат, ні апарат з

насіннєпроводом без прискорювача не відповідає вимогам технічних умов по відсотку насіння з інтервалами, передбаченими вихідними даними: 32% і 52% відповідно. Однак апарат з насіннєпроводом із прискорювачем має цей показник в межах норми - 92%. За показниками якості сівалка з удосконаленим висівним апаратом з насіннєпроводом із прискорювачем відповідає вимогам ТУ і агротехнічним вимогам на посів, що підтверджує теоретичні дослідження і робочу гіпотезу.

#### 4.5. Висновки до розділу

1. Експериментально визначені властивості посівного матеріалу (кукурудзи), що впливають на показники роботи вдосконаленого висівного апарату: маса 1000 насінин становить 0,31 кг, середня швидкість польоту насіння  $v_{кр} = 10,4$  м/с, коефіцієнт тертя спокою насіння об поверхню насіннєпроводу склав  $f_{cm} = 0,36$ ; коефіцієнт тертя руху насіння об поверхню насіннєпроводу склав  $f = 0,25$ .

2. Розроблено та виготовлено лабораторну установку для моделювання процесу удару насіння об дно борозни при посіві серійними сівалками типу СУПН. Дослідження удару насіння об ґрунт при різних швидкостях і кутах падіння показали, зменшити величину відскоку насіння в борозні можна знизивши швидкість падіння насіння (до 1,5 м/с) (шляхом зменшення висоти падіння до 20 мм) і кут падіння  $\gamma$  до нуля (тобто забезпечити рівність горизонтальної складової швидкості насіння в момент викиду з висівного апарату і швидкості руху агрегату).

3. Проведено експериментальні дослідження руху насіння в насіннєпровод без прискорювача. Виявлено відповідність аналітичної та експериментальної залежностей швидкості насіння на виході з насіннєпроводу без прискорювача від кутової швидкості посівного диска.

## 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Науково-технічний прогрес обумовлює нові задачі, пов'язані з охороною праці. В умовах зросту механізації та автоматизації процесів зберігання та переробки зернової продукції, велике значення набуває проблема охорони праці працюючих.

Збільшення енергоозброєності та технічної оснащеності потребує своєчасного виявлення, усунення і потенційного прогнозування можливих небезпечних місць на виробничих лініях, складах та інших виробничих об'єктах. Необхідне проведення робіт профілактичного характеру, пов'язаних з попередженням нещасних випадків. Для цієї цілі відповідним службам з охорони праці необхідно керуватися:

1. Законом України «Про охорону праці», прийнятим Верховною Радою України 21 листопада 2002 року;
2. «Типовим Положенням» про навчання по питанням охорони праці;
3. «Інструкціями» – тобто нормативними актами, які містять обов'язкові для дотримання працівниками вимог з охорони праці при виконанні робіт на робочих місцях.

В ПП «Ларіни» за стан охорони праці відповідає директор, Черкашина Т.В. Їй підпорядковується інженер з питань охорони праці, який працює за сумісництвом і має практичний стаж роботи більше 3-х років.

До основних обов'язків директора входить:

- опрацювання ефективної цілісної системи управління ОП;
- сприяння удосконаленню діяльності у цьому напрямку кожного структурного підрозділу і кожної посадової особи;

В свою чергу спеціаліст з питань охорони праці контролює:

- дотримання чинного законодавства, міжгалузевих, галузевих та інших нормативних актів, виконання працівниками посадових інструкцій з питань охорони праці;
- виконання приписів органів державного нагляду,

пропозицій та подань уповноважених трудових колективів і профспілок з питань охорони праці;

- своєчасне проведення навчання та інструктажів працюючих, атестації та переатестації з питань безпеки праці посадових осіб та осіб, які виконують роботи підвищеної небезпеки, а також дотримання вимог безпеки при виконанні цих робіт.

За стан охорони праці на робочих місцях відповідають начальники цехів, майстри, бригадири. До їх обов'язків входить:

- забезпечення безпеки виробничих процесів, устаткування, будівель і споруд;

- забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту;

- професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань опрацювання ефективної цілісної системи управління охороною праці;

- вибору оптимальних режимів праці і відпочинку працівників;

- професійного добору виконавців для визначених видів робіт.

Вступний інструктаж з питань охорони праці для працівників проводить спеціаліст з охорони праці підприємства.

В підприємстві погано організована пожежно-сторожова охорона, яка не оснащена зв'язком зі всіма підрозділами господарства. Графік чергувань пожежної охорони розроблено, але його не завжди дотримуються. Навчання правилам безпеки практично не ведеться.

Стан охорони праці на виробничих ділянках характеризує узагальнений коефіцієнт рівня охорони праці.

$$K_{cn}^u = \frac{K_{\partial} + K_{\sigma} + K_{впр}}{3} \leq 1 \quad (5.1)$$

Розраховуємо коефіцієнт рівня дотримання правил охорони праці:

$$K_{\partial} = \frac{C_{\partial}}{C}, \quad (5.2)$$

де  $K_{\partial}$  – коефіцієнт рівня дотримання правил охорони праці;

$C_{\partial}$  – кількість працівників, що дотримуються правил охорони праці;

$C$  – загальна кількість працівників.

$$K_{\partial 2015} = \frac{9}{10} = 0,9;$$

$$K_{\partial 2016} = \frac{10}{10} = 1,0;$$

$$K_{\partial 2017} = \frac{10}{10} = 1,0.$$

Як показали розрахунки, рівень дотримання правил охорони праці в господарстві за останній рік підвищився.

Розраховуємо коефіцієнт технічної безпеки обладнання:

$$K_{\sigma} = \frac{n_{\sigma\sigma}}{n}, \quad (5.3)$$

де  $K_{\sigma}$  – коефіцієнт технічної безпеки обладнання;

$n_{\sigma\sigma}$  – кількість одиниць обладнання, що відповідає вимогам безпеки і санітарним вимогам;

$n$  – загальна кількість обладнання.

$$K_{\sigma 2015} = \frac{20}{25} = 0,8;$$

$$K_{\sigma 2016} = \frac{20}{25} = 0,8;$$

$$K_{\sigma 2017} = \frac{23}{25} = 0,92.$$

Як показали розрахунки, рівень технічної безпеки в господарстві за останні роки підвищився.

Розраховуємо коефіцієнт виконання планових робіт з охорони праці:

$$K_{впр} = \frac{m_{сп}}{m}, \quad (5.4)$$

де  $K_{впр}$  – коефіцієнт виконання планових робіт з охорони праці;

$m_{cp}$  – кількість фактично виконаних запланованих робіт з охорони праці;

$m$  – загальна кількість запланованих робіт за певний відрізок часу.

$$K_{впр2015} = \frac{5}{10} = 0,5;$$

$$K_{впр2016} = \frac{6}{10} = 0,6;$$

$$K_{впр2017} = \frac{6}{10} = 0,6.$$

Коефіцієнт рівня охорони праці дорівнює:

$$K_{сн2015}^ч = \frac{0,9 + 0,8 + 0,5}{3} = 0,73;$$

$$K_{сн2016}^ч = \frac{1,0 + 0,8 + 0,6}{3} = 0,8;$$

$$K_{сн2017}^ч = \frac{1,0 + 0,92 + 0,6}{3} = 0,84.$$

Коефіцієнт рівня охорони праці свідчить, що стан охорони праці в господарстві, як показують розрахунки даний показник за останній рік підвищився.

В господарстві стан охорони праці знаходиться на належному рівні, але маються недоліки: не проводиться атестація робочих місць; підвищений рівень запиленості робочих місць; не проводиться інструктаж з охорони праці та надання першої медичної допомоги, для учнів і студентів, які прибувають на виробничу практику до господарства.

Метою дослідження виробничого травматизму є розробка заходів по запобіганню нещасних випадків на підприємстві. Для цього необхідно систематично аналізувати і узагальнювати їх причини. Аналіз причин травматизму дозволяє поділяти їх на організаційні, технічні, психофізіологічні та санітарно-гігієнічні.

Так, як в господарстві випадків травматизму за досліджувані роки не було, проводимо розрахунок показників захворювань.

Для їх кількісної характеристики використовують такі показники:

- коефіцієнт частоти захворювань:

$$K_q = \frac{T}{P} \cdot 100 \quad (5.4)$$

- коефіцієнт важкості захворювань:

$$K_6 = \frac{D}{T} \quad (5.5)$$

- коефіцієнт втрат робочого часу:

$$K_{em} = \frac{D}{P} \cdot 100 \quad (5.6)$$

де  $T$  – кількість випадків захворювань за досліджуваний період;

$P$  – середньоспискова кількість працівників, чол.;

$D$  – сумарна втрата днів працездатності в результаті захворювань, днів.

Отже, за звітній період отримаємо наступні дані: коефіцієнт частоти

захворювань:  $K_{q2015} = \frac{1}{10} \cdot 100 = 10$

- коефіцієнт важкості захворювань:  $K_{62015} = \frac{24}{1} = 24$

- коефіцієнт втрат робочого часу:

$$K_{em2015} = \frac{24}{10} \cdot 100 = 240$$

Основні показники захворювань зводяться до таблиці 5.1 та робляться висновки про його рівень.

Таблиця 5.1 – Основні показники захворювань по ПП «Ларіни»

Показники	Роки		
	2023	2024	2025
Кількість працюючих, чол.	10	10	10
Кількість захворювань, од	1	-	-
Втрати днів непрацездатності від захворювань	24	-	-
Коефіцієнт частоти	10	-	-
Коефіцієнт важкості	24	-	-
Коефіцієнт втрат робочого часу	240	-	-

Для покращення стану охорони праці на підприємстві, створення безпечних умов праці, зменшення виробничого травматизму та захворюваності, в наслідок чого підвищення рівня виробництва рекомендується:

- організувати кабінет з охорони праці;
- забезпечити кабінет необхідним обладнанням;
- закупити учбові плакати з охорони праці та розповсюдити їх по всіх виробничих підрозділах;
- систематично проводити демонстрацію фільмів про охорону праці та пожежну безпеку;
- проводити з працівниками лекції та бесіди з охорони праці;
- щомісяця проводити на підприємстві день охорони праці;
- налагодити пропаганду безпечних умов праці.
- слідкувати за чистотою площадок для зберігання техніки.
- перевірити лінії електропередач, висоту вводів в приміщення. Висота ліній по нижньому проводу повинна бути не менше 6 м, а висота вводу в приміщення не менше 2,5 м.
- перевірити блискавкозахист приміщень.
- перевірити контури заземлення електрообладнання та встановити захисні щитки.
- забезпечити протипожежним інвентарем, резервуарами з водою та вогнегасниками.
- посадити зелене насадження.
- забезпечити кожний агрегат аптечкою першої медичної допомоги.
- регулярно проводити інструктажі з охорони праці.
- забезпечити всі виробничі приміщення плакатами з охорони праці.

В разі виникнення пожежі на стаціонарних об'єктах викличте пожежну команду, повідомте керівництво і приступіть до ліквідації осередку загоряння згідно з вимогами інструкції про заходи з пожежної безпеки.

При виникненні пожежі на електроустановках у першу чергу необхідно повідомити про це пожежну охорону, відповідального за електрогосподарство, керівника робіт.

У випадку загоряння зерна погасіть топку, виключіть вентилятори і вивантажувальні пристрої, закрийте випускні заслінки і, не зупиняючи подачі вологого зерна, відкрийте люки дифузорів, виявивши осередок загоряння, через вікно короба спробуйте витягнути його із шахти. Якщо осередок загоряння усунути не вдається, включіть розвантаження на максимальну продуктивність, а осередки загоряння зерна гасіть водою й усувайте з основного потоку зерна. Після розвантаження всього зерна ретельно очистіть стінки камери й поверхню коробів від нагару.

При загорянні одязі постарайтесь зняти її або накрийте палаючу ділянку щільною матерією, при можливості занурте у воду.

Розрахунок освітлення виробничих приміщень

Специфіка обладнання підприємств зі зберігання техніки полягає в тому, що воно майже не потребує місцевого освітлення, тому розрахуємо загальне освітлення. Розрахунок проведемо для основних виробничих приміщень.

Розрахунок виконаємо за методом використання світлового потоку. Для цього знайдемо висоту підвісу світильників:

$$H_c = H - (h_p + h_r), \text{ м} \quad (5.8)$$

де  $H$  – висота приміщення, м;

$h_p$  – висота робочого місця, м;

$h_r$  – відстань від стелі до світильника, м.

Для всіх приміщень висота підвісу буде складати:

$$H_c = 6 - (1,15 + 0,45) = 4,4 \text{ м}$$

Далі визначаємо показник приміщення:

$$\varphi = \frac{a \cdot b}{H_c (a + b)}, \quad (5.9)$$

де  $a$  і  $b$  – довжина і ширина приміщення відповідно, м.

Для виробничого відділення цей індекс складає:

$$\varphi = \frac{18 \cdot 9}{4,4 \cdot (12 + 9)} = \frac{162}{118,8} = 1,36$$

Далі визначаємо кількість світильників в цеху при умові розміщення їх один від одного на відстані три метри:

$$n = \frac{S}{l^2}, \text{ шт} \quad (5.10)$$

Звідси, 
$$n = \frac{162}{9} = 18 \text{ шт}$$

Таким чином, приймаємо кількість світильників рівну 18 шт.

Далі визначаємо світловий потік однієї лампи за формулою:

$$F = \frac{E_{\min} \cdot K \cdot Z \cdot S}{n \cdot \eta} \quad (5.11)$$

де  $E$  – мінімальна освітленість, що дорівнює 150 люкс;

$K$  – коефіцієнт запасу, що враховує запиленість світильників ( $K = 1,7$ );

$Z$  – відношення середньої освітленості до мінімальної ( $Z = 0,53$ );

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$n$  – кількість світильників, шт.;

$\eta$  – коефіцієнт використання світового потоку ( $\eta = 0,55$ ).

Розрахунковий світовий потік складає:

$$F = \frac{150 \cdot 1,7 \cdot 0,53 \cdot 162}{18 \cdot 0,55} = 2211 \text{ лм}$$

Отже, 
$$E = \frac{2211 \cdot 18 \cdot 0,55}{1,7 \cdot 162 \cdot 0,53} = 150 \text{ лк}$$

Далі за визначеним мінімальним світовим потоком вибираємо лампи для світильників. Таким чином, для обраних світильників типу ОДОР приймаємо люмінесцентні газорозрядні лампи ЛДЦ потужністю 40 Вт.

#### *Рекомендації щодо покращення охорони праці*

1. Більше уваги приділяти навчанню робітників підрозділів, керівнику підприємства і інженеру з охорони праці.
2. Перевірити стан вентиляції в приміщеннях.

3. Обладнати належним чином місця для куріння на всіх виробничих дільницях, керівнику підприємства.

4. Звернути особливу увагу на проведення інструктажів з питань охорони праці, ознайомити працівників зі способами надання першої медичної допомоги, для учнів і студентів, які прибувають на виробничу практику до господарства, інженеру по охороні праці. Провести атестацію робочих місць.

#### Висновки

У даному розділі приведені стан охорони праці та обов'язки відповідальних осіб з охорони праці на підприємстві, проаналізований стан охорони праці в цеху. У частині інженерних розрахунків для покращення умов праці та підвищення безпеки виробництва був проведений розрахунок системи освітлення приміщень. Також був розроблений план дій виробництва при вибуху, як найбільш ймовірній надзвичайній ситуації. На підставі проведеного аналізу стану охорони праці на підприємстві був розроблений план заходів і засобів спрямованих на покращення умов та безпеки праці, підвищення культури виробництва та зниження травматизму робітників.

## 6. Економічна ефективність впровадження пневматичної сівалки

Мета, що стоїть в розділі економічної ефективності впровадження запропонованого посівного агрегату (МТЗ-82 + СУПН-8У) є визначення вартості витрат на його удосконалення, визначення витрат, пов'язаних з експлуатацією даного посівного агрегату, розрахунок витрат праці, продуктивності, строку окупності і очікуваного економічного ефекту.

Визначення вартісних витрат на удосконалення посівного агрегату проводимо для умов центру України при виконанні технологічної операції - «сівба», умовно названо його СУПН-8У – проектна модель, а за базову модель взято технологію сівби насіння кукурудзи, до якої входить СУПН-8.

### 5.1. Визначення галузевої собівартості посівного агрегату

З урахуванням методики [32] галузева собівартість проектного посівного агрегату визначається з виразу

$$C_o = P \cdot (П \cdot Н \cdot K_m + M) + Д, \text{ грн}, \quad (6.1)$$

де  $P = \sum P_i$  – чиста вага сільськогосподарського знаряддя,  $P = 550$  кг;

$П$  – коефіцієнт конструктивної складності,  $П = 1,4$ ;

$Н$  – витрати на виробництво 1 кг чистої маси продукції,  $Н = 18,6$  грн/кг;

$K_m$  – коефіцієнт зміни витрат на виробництво,  $K_m = 1,4$ ;

$M$  – вартість 1 кг чистого матеріалу, що входить у знаряддя,  $M = 56,7$  грн/кг;

$Д$  – вартість витрат, зв'язаних із транспортними витратами,  $Д = 1800$  грн.

$$C_o = 550 \cdot (1,4 \cdot 18,6 \cdot 1,4 + 56,7) + 1800 = 54468 \text{ грн}.$$

Нижню межу ціни розраховуємо по формулі:

$$Ц_{нн} = C_o + П_n, \text{ грн}. \quad (6.2)$$

де  $П_n$  – нормативний прибуток, грн.

$$П_n = \frac{P_c \cdot C_o}{100}, \text{ грн}. \quad (6.3)$$

де  $P_c$  – галузева нормативна рентабельність,  $P_c = 7\%$ .

$$P_n = \frac{7 \cdot 54468}{100} = 3812,76 \text{ грн.}$$

тоді:  $C_{nn} = 54468 + 3812,76 = 58280,76 \text{ грн.}$

Звідси лімітна галузева ціна визначиться:

$$C_l = C_{nn} \cdot k_n, \text{ грн,} \quad (6.4)$$

де  $k_n$  – коефіцієнт подорожчання, зв'язаний з підвищенням виробництва продукції через її несерійність,  $k_n = 1,05$ .

$$C_l = 58280,76 \cdot 1,05 = 61194,8 \text{ грн.}$$

Разом галузеву ціну приймаємо 62000 грн.

Для подальшого розрахунку економічної ефективності складемо таблицю 6.1, таблицю вихідних даних.

Таблиця 6.1. Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності.

№ пп.	Показники	Позначення	Розмірність	Модель	
				Базова модель	Проектна модель
1	2	3	4	5	6
1.	Марки трактора	-	-	MT3-82	MT3-82
2.	Оптова ціна трактора	$B_m$	грн.	873000	873000
3.	Марка с.-г. машини	-	-	СУПН-8	СУПН-8У
4.	Оптова ціна с.-г. машини	$B_m$	грн.	158500	180000
5.	Продуктивність	$W_{год}$	га/год	4,4	4,9
6.	Витрата палива	$g_m$	кг/га	5,24	4,43
7.	Нормативне завантаження:				
	- трактора	$T_{зм}$	дні	300	300
	- с.-г. машини	$T_{зм}$	дні	30	30
8.	Кількість обслуговуючого персоналу	$n$	чол.	1	1
9.	Тарифна ставка тракториста	$f_m$	грн.	196,35	196,35
10.	Відрахування по трактору на:				
	- реновацію	$Q_{pm}$	%	15	15
	- ремонт і ТО	$Q_{km}$	%	12	12
11.	Відрахування по с.-г. машині на:				
	- реновацію	$Q_{pm}$	%	12	12
	- ремонт і ТО	$Q_{km}$	%	5	5
12.	Комплексна ціна 1 кг ПММ	$C_{пмм}$	грн.	28,50	28,50

## 6.2. Визначення економічної ефективності удосконалення посівного агрегату

Даний розрахунок приводимо в порівнянні з базової та проектної моделлю сівби зернових культур.

- визначимо заробітну плату механізатора [32]:

$$z_n = \frac{f_m}{W_{zod}}, \text{ грн/га.} \quad (6.5)$$

По базовій моделі:

$$z_{n.б.} = \frac{196,35}{4,4} = 44,63 \text{ грн / га.}$$

По проектній моделі:

$$z_{n.п.} = \frac{196,35}{4,9} = 40,07 \text{ грн / га.}$$

- визначимо відрахування на ремонт і амортизацію по трактору [32]:

$$S_{om} = \frac{1,1 \cdot B_m \cdot (Q_{pm} + Q_{pm})}{100 \cdot T_{zm} \cdot W_{zod}}, \text{ грн/га.} \quad (6.6)$$

По базовій моделі:

$$S_{om.б.} = \frac{1,1 \cdot 473000 \cdot (15 + 12)}{100 \cdot 300 \cdot 4,4} = 106,43 \text{ грн / га.}$$

По проектній моделі:

$$S_{om.п.} = \frac{1,1 \cdot 473000 \cdot (15 + 12)}{100 \cdot 300 \cdot 4,9} = 95,56 \text{ грн / га.}$$

- визначимо відрахування на ремонт та амортизацію по сільськогосподарському знаряддю [32]:

$$S_{om} = \frac{1,1 \cdot B_m \cdot (Q_{pm} + Q_{pm})}{100 \cdot T_{zm} \cdot W_{zod}}, \text{ грн/га.} \quad (6.7)$$

По базовій моделі:

$$S_{om.б.} = \frac{1,1 \cdot 58500 \cdot (12 + 5)}{100 \cdot 30 \cdot 4,4} = 82,87 \text{ грн / га.}$$

По проектній моделі:

$$S_{om.п.} = \frac{1,1 \cdot 62000 \cdot (12 + 5)}{100 \cdot 30 \cdot 4,9} = 78,87 \text{ грн / га.}$$

- визначимо витрати коштів на паливо [32]:

$$G_m = C_m \cdot g_m, \text{ грн./га.} \quad (6.8)$$

По базовій моделі:

$$G_{m.б.} = 50 \cdot 5,24 = 262 \text{ грн./га.}$$

По проектній моделі:

$$G_{m.п.} = 50 \cdot 4,43 = 221,5 \text{ грн./га.}$$

Разом витрат будемо мати:

$$B = Z_n + S_{on} + S_{on} + G_m, \text{ грн./га.} \quad (6.9)$$

По базовій моделі:

$$B_{б.} = 144,63 + 156,43 + 82,87 + 262 = 583,27 \text{ грн./га.}$$

По проектній моделі:

$$B_n = 140,07 + 105,56 + 78,87 + 221,5 = 440,75 \text{ грн./га.}$$

- визначимо питомі капітальні витрати:

$$S_n = \frac{1,1 \cdot B_m}{W_{год} \cdot T_{зм}} + \frac{1,1 \cdot B_m}{W_{год} \cdot T_{зм}}, \text{ грн./га.} \quad (6.10)$$

По базовій моделі:

$$S_{n.б.} = \frac{1,1 \cdot 873000}{4,4 \cdot 300} + \frac{1,1 \cdot 158500}{4,4 \cdot 30} = 1881,66 \text{ грн./га.}$$

По проектній моделі:

$$S_{n.п.} = \frac{1,1 \cdot 873000}{4,9 \cdot 300} + \frac{1,1 \cdot 180000}{4,9 \cdot 30} = 1617,88 \text{ грн./га.}$$

- визначимо річний економічний ефект [32]:

$$E_p = [(B_{б.} + E_{б.} \cdot S_{n.б.}) - (B_n + E_n \cdot S_{n.п.})] \cdot T_{зм} \cdot W_{год}, \text{ грн./га.} \quad (6.11)$$

$$E_p = [(583,27 + 0,15 \cdot 1881,66) - (440,75 + 0,15 \cdot 1617,88)] \cdot 30 \cdot 4,9 = 93725,30 \text{ грн.}$$

- визначимо строк окупності за формулою [32]:

$$Q = \frac{Z_{np}}{E_p} = \frac{21500}{93725,30} = 0,22 \text{ року.} \quad (6.12)$$

де  $Z_{np}$  – витрати на виробництво,  $Z_{np} = 21500$  грн.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2. Техніко-економічні показники проекту

Показники	Одиниці виміру	Посівний комплекс		Відхилення , +/-
		Базовий	Проектний	
Сумарні витрати на техніку	грн.	158500	180000	+21500
Загальні експлуатаційні витрат:	грн./га	583,27	440,75	
- заробітна плата	грн./га	64,63	50,07	
- витрати по трактору	грн./га	106,43	95,56	
- витрати по с.-г. машині	грн./га	82,87	78,87	
- витрати на ПММ	грн./га	262	221,5	
Питомі капітальні витрати	грн./га	1881,66	1617,88	
Річний економічний ефект	грн.		93725,30	-
Строк окупності	років		0,22	-

Отже, техніко-економічними розрахунками встановлено, що річний економічний ефект складе 93725,30 грн., а окупиться дана розробка за 0,22 роки, що дозволяє судити про доцільність даного рішення по удосконаленню конструкції посівного агрегату.

### 6.3. Висновки до розділу

Порівняльна оцінка існуючого і запропонованого способів сівби просапних культур (кукурудзи) показала, що при сівбі із запропонованими висівними апаратами врожайність кукурудзи підвищилася на 15,6 по відношенню до врожайності при звичайному способі сівби.

Застосування запропонованого способу сівби більш ефективно в порівнянні з існуючим. Річний економічний ефект від впровадження запропонованого технічних засобів складе 93725,30 гривень.

## Загальні висновки

Результати теоретичних і експериментальних досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

1. При посіві кукурудзи сівалкою СУПН-8А зі швидкістю руху посівного агрегату більше 1,2 м/с виникає косий удар і відскокування зі значним зміщенням (більше 20 мм) насіння відносно місця його падіння, що призводить до погіршення розподілу його по борозні. Для виключення названого ефекту необхідно зменшити висоту і кут падіння насіння, змінити величину і напрямок його швидкості в момент скидання, що можна досягти введенням в конструкцію висівного апарату насіннепровода заданої форми, що забезпечує управління процесом руху насіння від висівного апарату до дна борозни.

2. Розроблено функціональну схему і конструкцію висівного апарату з насіннепроводом, який має прискорювач насіння. Використання насіннепровода з прискорювачем дозволяє управляти процесом доставки насіння від висівного апарату до дна борозни по заданій траєкторії в сторону, протилежну руху агрегату, зі швидкістю подачі насіння на виході до 3,5 м/с.

3. Обґрунтовано закономірності руху насіння в насіннепроводі удосконаленого пневматичного висівного апарату з урахуванням впливу швидкості руху агрегату. Визначено фактори, що дозволяють досягти швидкості насіння на виході з насіннепровода, яка дорівнює швидкості посівного агрегату  $v_a$ . Ними є: швидкість повітряного потоку в прискорювачі  $v_n$ , довжина прискорювача насіннепровода  $l_3$ , кутова швидкість обертання висівного диска  $\omega$ .

4. Дослідним шляхом уточнені властивості насіння кукурудзи (середньостиглий гібрид Сплендіс), що впливають на показники роботи удосконаленого висівного апарату: маса 1000 насінин склала 0,31 кг, середня швидкість польоту  $v_{кр} = 10,4$  м/с, коефіцієнти тертя насіння по насіннепроводу (труба ГОСТ Р 52134-2003): статичний  $f_{ст} = 0,36$ , динамічний  $f_d = 0,25$ .

5. Обґрунтовано раціональні конструктивно-технологічні параметри висівного апарату, оснащеного насіннепроводом з прискорювачем, і режими його роботи: внутрішній діаметр насіннепровода  $D_{вн} = 16$  мм, висота початку і кінця ділянок  $h_1 = 0,14$  м,  $h_2 = 0,05$  м,  $h_3 = 0,01$  м; радіус кривизни другої ділянки насіннепровода  $r = 0,076$  м, кут сходу насіння з висівного диска  $\beta = 20^\circ$ , довжина прискорювача  $l_3 = 0,12$  м, кутова швидкість обертання висівного диска  $\omega = 2,5...3,0$  с<sup>-1</sup>, швидкість повітряного потоку в прискорювачі  $v_n = 18...20$  м/с.

6. Підтверджено, що використання в конструкції сівалки типу СУПН насіннепровода насіння підвищує якість розподілу його по дну борозни. Експериментально встановлені наступні показники:

- середні інтервали між насінням кукурудзи при висіві пневматичним апаратом з насіннепроводом без прискорювача склали 342 мм, з насіннепроводом із прискорювачем - 304 мм, що вище розрахункового кроку висіву (257 мм);

- коефіцієнт варіації інтервалів між насінням для зазначених вище насіннепроводів склав: 41,4% і 38,8%;

- відсоток насіння з інтервалами, передбаченими вихідними вимогами, відповідно дорівнює 52% і 92%.

7. Впровадження у виробництво пневматичної сівалки, оснащеної запропонованими висівними апаратами, дозволить отримати розрахунковий річний економічний ефект у сумі 93725,30 гривень на одну сівалку за один сезон роботи (30 год.).

## Список використаної літератури

1. Бакум М. В. Проектування сільськогосподарських машин [Текст]: Бакум М. В., Нікітін С. П., Сергєєва А. В. / за ред. М. В. Бакума. - Харків : ХДТУСГ, 2003. - 336 с.
2. Брандт, Ю. К. Тенденції розвитку посівних і садильних машин [Текст]/, В.А. Соколов//Оглядова інформація/ М., 1992. 82 с.
3. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В. М. Барановський, В. М. Булгаков та ін.; за ред. Д. Г. Войтюк. К.: Вища освіта, 2005. 464 с.
4. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004.
5. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. 2-е вид. К.: Каравела, 2008. С.13-22.
6. Ільченко В.Ю. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві. К.: Урожай, 1993.
7. Кочемасов, А. В. Удосконалення процесу висіву насіння сорго пневмовакуумний порційним апаратом просапної селекційної сівалки: дис.... канд. тех. наук [Текст] / Кочемасов А. В. Київ, 2005. 150 с.
8. Лаврухин, П. В. Рух насіння в насіннепровід при пневмотранспортуванні [Текст] / П. В. Лаврухин, П. А. Іванов // Механізація та електрифікація сільського господарства. 2008. № 8. С. 15-16.
9. Петренко А.Є. Теоретичні та експериментальні основи удосконалення пневмомеханічного способу посіву насіння овочевих культур: автореф .... канд. тех. наук / Петренко А. Е. Київ, 2001. 26 с.
10. Шмат К.І. Робочі процеси і розрахунок сільськогосподарських машин / Шмат К.І., Сисолін П. В. Херсон, ОЛДІ-плюс, 2004. 308 с.
11. Schunke U. Was Sie Ihren Kunden empfehlen sollten / U. Schunke // Agrar-technik. 2001.-№1L S. 122 - 126.

12. Streit H. Genauigkeit der Saatgutablage Einfluss von Vertikalbewegungen de des Einzelkomsagerates auf die Langsverteilung des Saatgutes / H. Streit // *Landtechnik* 2013. №1-2. S.45-47.
13. Liu, X.; Su, C.; Li, Z.; Wang, K.; Xie, F.; Tian, Y.; Qi, J. Analysis and Evaluation of Seed-Filling Performance of a Pneumatic Interference Precision Seeder for Small Cabbages [Text] // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 7 p. 2-25. [MDPI](#)
14. Feng, D. H.; Sun, X. P.; Li, H.; Qi, X. D.; Wang, Y. J.; Nyambura, S. Mbugua. Optimized Design of the Pneumatic Precision Seed-Metering Device for Carrots [Text] // *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*. 2023. Vol. 16, No. 6. p. 134-147. [Ijabe.org+1](#)
15. He, X.; Wang, Z. M.; Luo, X. W.; Zang, Y.; He, S. Y.; Xu, P.; Liu, S. C. Design and Experimental Analysis of Rice Pneumatic Seeder with Adjustable Seeding Rate [Text] // *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*. – 2021. Vol. 14, No. 4. p. 113-122. [Ijabe.abepublishing.org+1](#)
16. Zhang, G. Z.; Zang, Y.; Luo, X. W.; Wang, Z. M.; Zhang, Q.; Zhang, S. S. Design and Indoor Simulated Experiment of Pneumatic Rice Seed-Metering Device [Text] // *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*. 2015. Vol. 8, No. 4. p. 10-18. [Ijabe.org](#)
17. Kroulík, M.; Hůla, J.; Rybka, A.; Honzík, I. Pneumatic Conveying Characteristics of Seeds in a Vertical Ascending Airstream [Text] // *Research in Agricultural Engineering*. 2016. – Vol. 62, No. 2. p. 56-63. [Rae.agriculturejournals.cz](#)
18. Liu, R.; Liu, Y.; Liu, Z.; Liu, L. Research on Positive Pressure Airflow Assisted Blowing and Seed Guiding Device of Corn High-Speed Precision Planter [Text] // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*. 2023. Vol. 54, No. 7. [nyjxxb.net](#)
19. Liu, Rong; Luo, H. Design and Experimental Study of the General Mechanical Pneumatic Combined Seed Metering Device [Text] // *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 16. p. 7223. [MDPI](#)

20. Zhang, X.; Wang, Y.; Zhang, L.; Peng, C.; Fan, G. Design and Experiment of Wheat Pneumatic Centralized Seeding Distributing System [Text] // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery. 2018. Vol. 49, No. 3. (сторінки уточнюються) [nyjxxb.net+1](http://nyjxxb.net+1)
21. Yu, Y.; Ge, R. C.; Li, G. Y.; Zhang, X.; Tan, X. Z.; Yi, D. Z.; Wang, X.; Xu, Z. X. Design and Experiment of the Pneumatic Double Disc Precision Seed-Metering Device for Chinese Flowering Cabbage [Text] // International Journal of Agricultural & Biological Engineering. 2024. Vol. 17, No. 4. p. 128-135. [ljabe.org](http://ljabe.org)
22. Güner, M. Pneumatic Conveying Characteristics of Some Agricultural Seeds [Text] / M. Güner // Journal of Food Engineering. 2007. Vol. 80, No. 3. p. 90-93.

# ДОДАТКИ

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО -  
ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

**Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин**

**Дослідження технологічного процесу висіву насіння  
пневматичним висівним апаратом просапної сівалки**

**Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»**

**Виконав: студент 2го курсу, групи МГАІ-2-24  
Діана ЗАКОПАЙ**

**Керівник: к.т.н., доцент  
Наталя ПОНОМАРЕНКО**

**Дніпро 2025**

**Метою роботи** є підвищення якості посіву просапних культур пневматичними сілками шляхом установак насіннепрободів, що забезпечують керованість рухом насіння від висівного апарату до дна борозни.

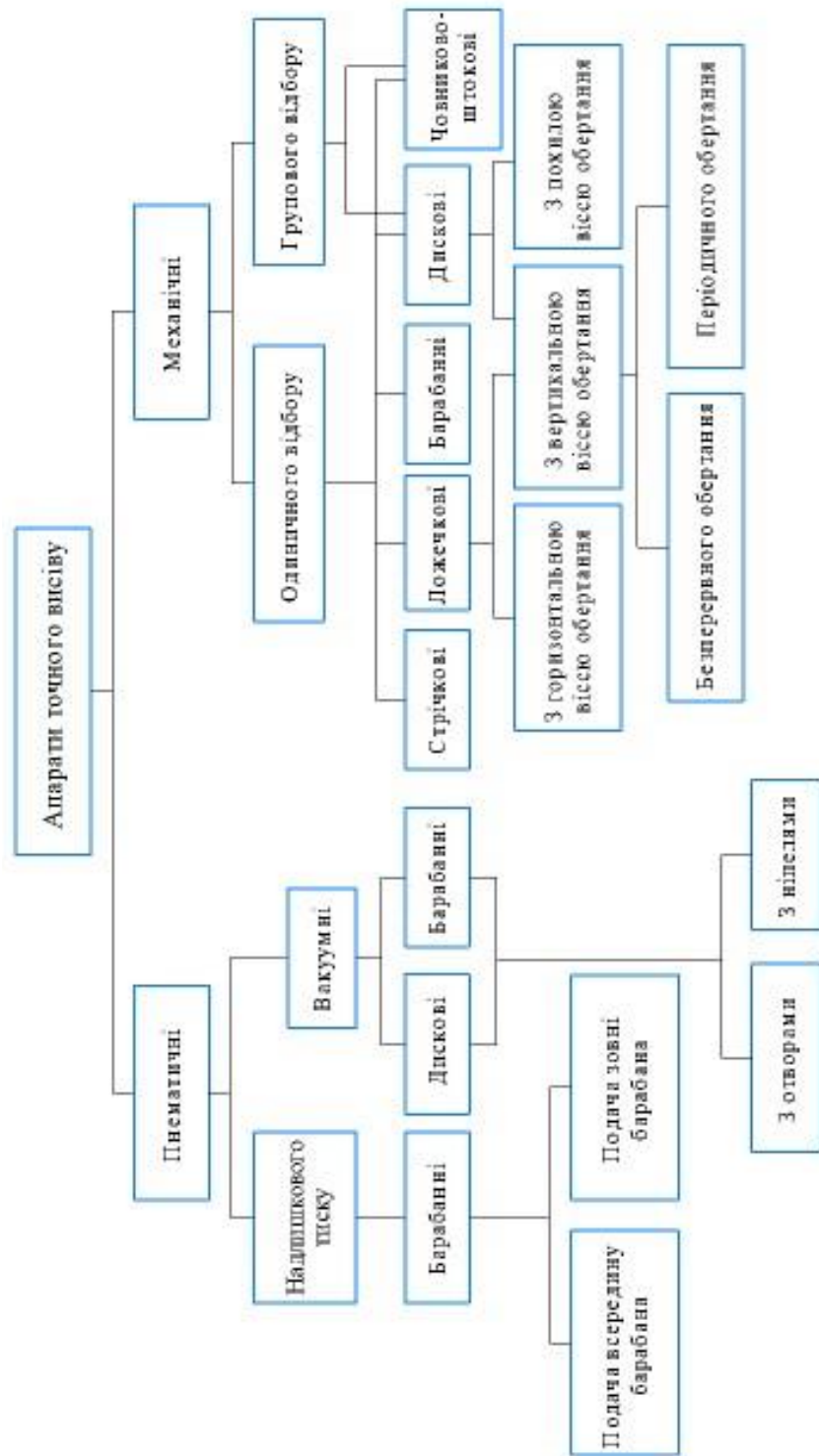
### **Задні дослідження**

1. Провести аналітичні дослідження можливостей управління процесом доставки насіння на дно борозни в серійних просапних сілках.
2. Розробити функціональну схему і конструкцію експериментального висівного апарату з насіннепрободом-прискорювачем руху насіння.
3. Теоретично обґрунтувати закономірності руху насіння в насіннепрободі вдосконаленого пневматичного висівного апарату, котрі враховують вплив швидкості руху агрегату.
4. Провести експериментальні дослідження по уточненню властивостей посівного матеріалу, котрі впливають на показники роботи висівного апарату.
5. Виконано експериментальні дослідження удосконаленого висівного апарата з наступним визначенням раціональних конструктивно-технологічних параметрів насіннепробода з прискорювачем руху насіння.
6. Провести техніко-економічну оцінку ефективності застосування удосконаленого висівного апарату при посіві кукурудзи.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес однозерного посіву насіння просапної культури (кукурудзи) апаратом пневматичної дії з насіннепрободом.

**Предмет дослідження** – закономірності руху насіння в насіннепрободі вдосконаленого пневматичного висівного апарату просапної сілки.

## Класифікація висівних апаратів



Огляд просяпних сівалок



Сівалка точного висіву ED 602К (Німеччина).



Посівна секція просяпної сівалки «Gasparato» (Італія).



Універсальна пневматична сівалка УПС-6.



Базова модель просяпних сівалок «Тана» - СПКА-8.

Теоретичні дослідження руху насіння в насіннепроводах висівних апаратів

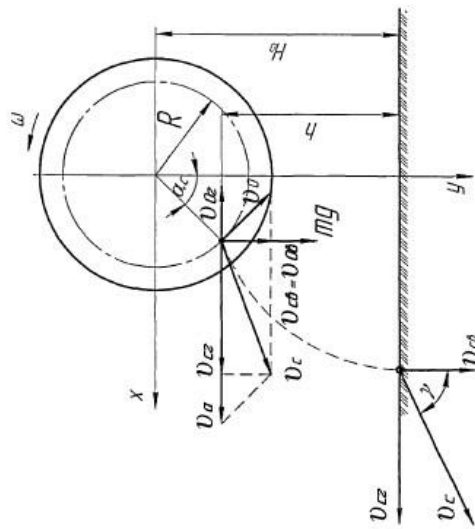
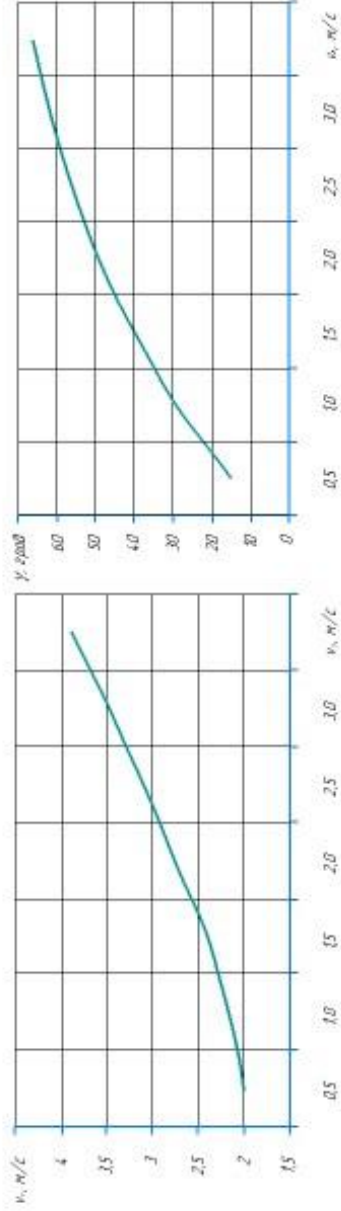
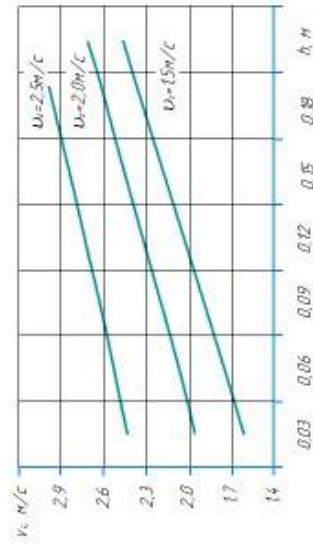


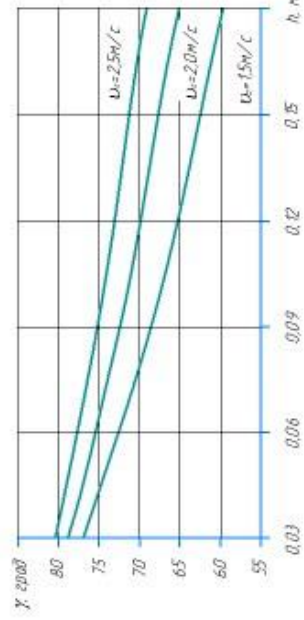
Схема польоту насіння в просапних сівалк



Залежності величини швидкості  $v_c$  і кута падіння  $\gamma$  насіння на дно борозни від швидкості посівного агрегату  $v_a$ .



Залежність величини швидкості насіння і від висоти падіння  $h$  при різних швидкості посівного агрегату  $v_a$ .



Залежність кута падіння  $\gamma$  від висоти падіння  $h$  при різних швидкості посівного агрегату  $v_a$ .

Дослідження процесів руху насіння по насіннеспроводу вдосконаленого висівного апарату

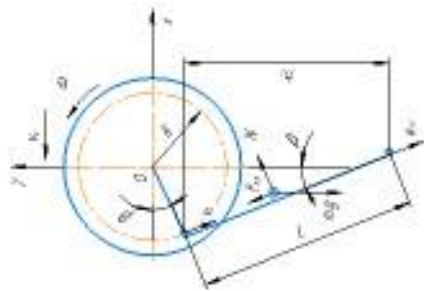
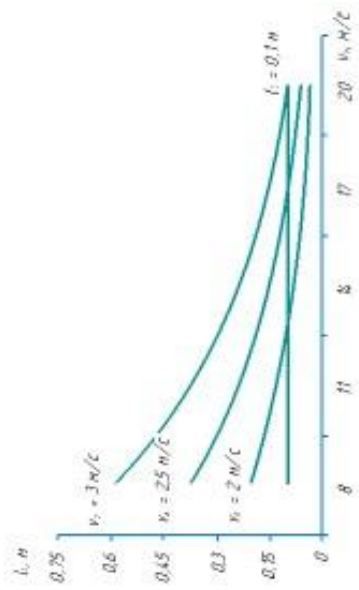


Схема руху насіння по ділянці I насіннеспровода



Залежність довжини насіннеспровода від швидкості повітряного потоку  $l_1 = f(v_1)$  при  $N_1 = 0$ .

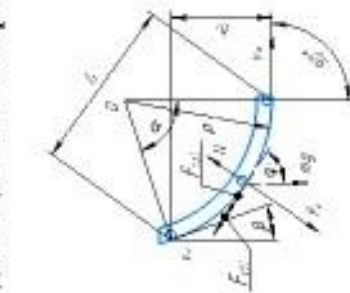
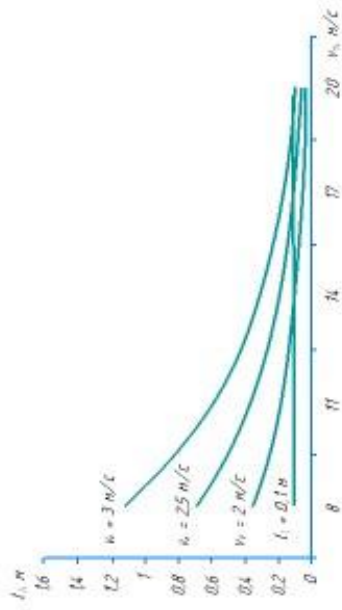


Схема руху насіння по ділянці II насіннеспровода



Залежність довжини насіннеспровода від швидкості повітряного потоку  $l_2 = f(v_2)$  при  $N_2 = 0$ .

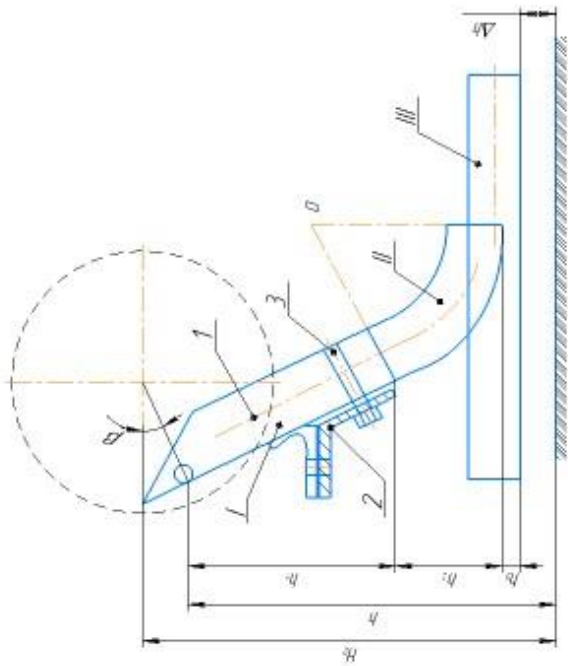
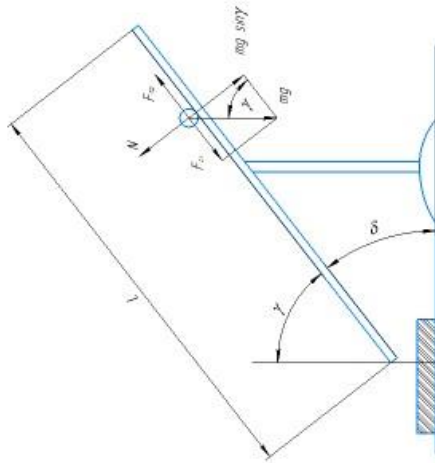
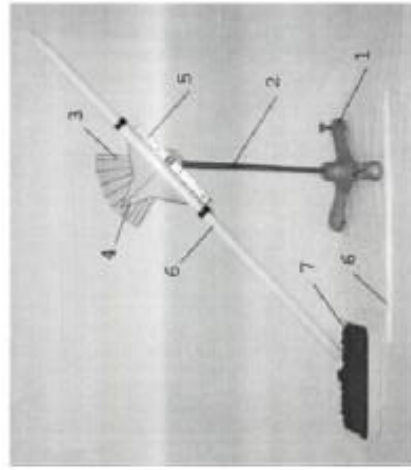


Схема експериментального насіннеспровода пневматичної сівалки СУПІІ-8А

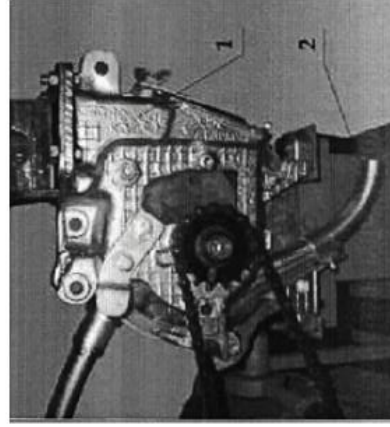
Програма і методика експериментальних досліджень



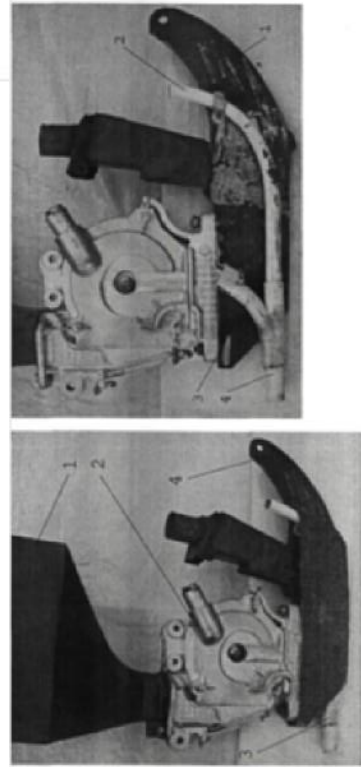
**Схема для визначення явища відскоку насіння від ґрунту при падінні на дно борозни**



**Лабораторна установка для визначення кута тертя спокою і моделювання удару насіння по дну борозни ґрунту:**  
**1 - опора з регулювальним гвинтом, 2 - штатив, 3 - нерухомий сектор кутоміра, 4 - показчик кутоміра, 5 - базова поверхня, 6 - телескопічна трубка, 7 - смінець з ґрунтом**



**Експериментальний висівний апарат:**  
**1 - серійний пневматичний висівний апарат, 2 експериментальний насіннепровід**

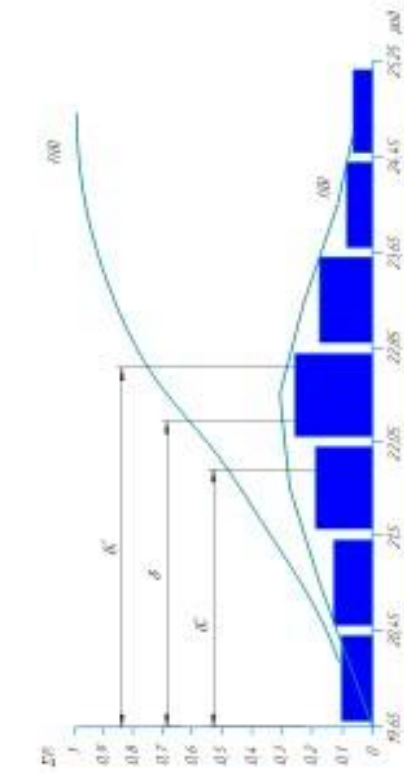


**Посівна секція для проведення польових дослідів:**  
**а) секція в зборі: 1 - бункер, 2 - пневматичний висівний апарат, 3 - насіннепровід з прискорювачем, 4 - модернізований сошник; б) модернізований сошник: 1 - сошник, 2 - на трубок для подачі повітря у прискорювач 4; 3 - насіннепровід.**

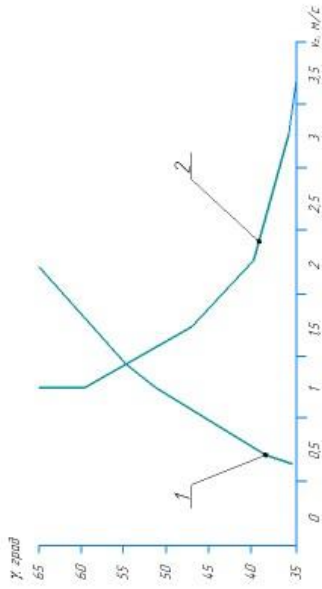


**Лабораторна установка для досліджень пневматичних висівних апаратів:**

## Результати експериментальних досліджень

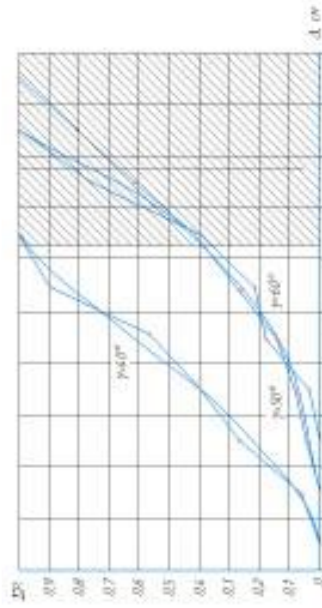


Гістограма, диференціальна і інтегральна криві розподілу значень кута тертя насіння кукурудзи по дну насінняпротова

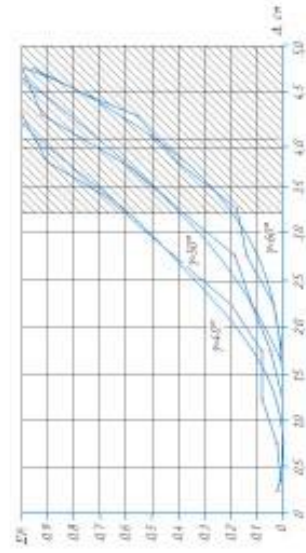


Положення меж відскоку насіння в залежності від швидкості сівалки ха і кута падіння г:

- 1 - крива, яка характеризує залежність кута падіння г насіння на дно борозни від швидкості посівного агрегату ха;
- 2 - крива, що характеризує явище виникнення відскоку при різних ха і г

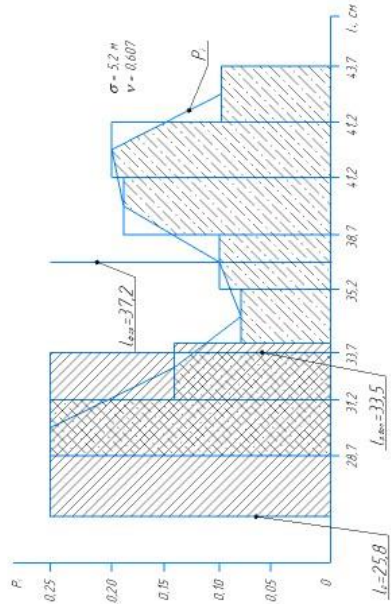


Графік накопичених дослідних ймовірностей розподілу насіння по інтервалах величини відскоку при різних кутах падіння при швидкості падіння насіння 2,0 м/с

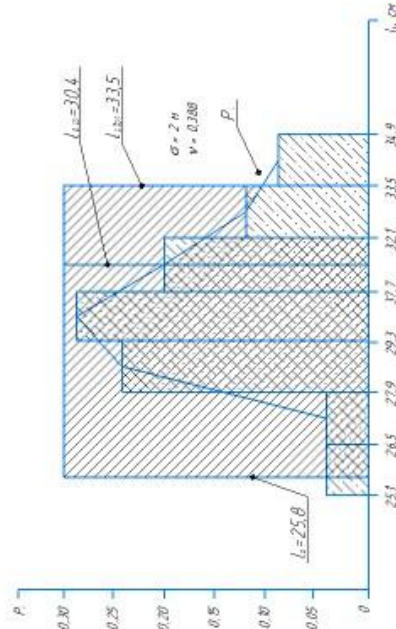


Графік накопичених дослідних ймовірностей розподілу насіння по інтервалах величини відскоку при різних кутах падіння при швидкості падіння насіння 2,5 м/с

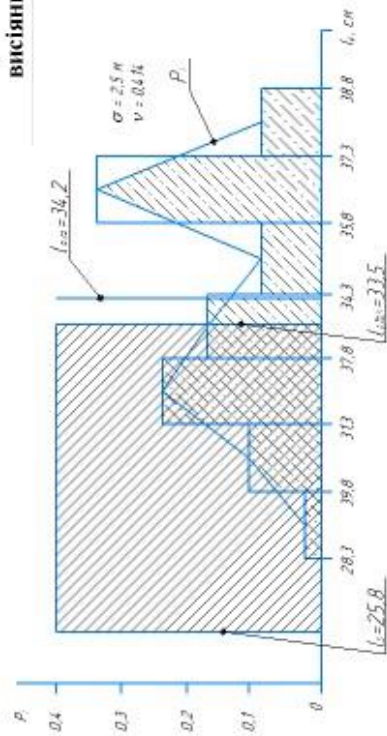
## Результати експериментальних досліджень



Гістограма і дослідна ймовірність розподілу фактичного інтервалу між насінням висіяним серійним висівним апаратом сівалки СУПН-8А



Гістограма і дослідна ймовірність розподілу фактичного інтервалу між насінням кукурудзи, висіяним удосконаленим висівним апаратом з насіннєпроводом із прискорювачем



Гістограма і дослідна ймовірність розподілу фактичного інтервалу між насінням кукурудзи, висіяним удосконаленим висівним апаратом з насіннєпроводом без прискорювача

Техніко -економічні показники проекту

Показники	Одиниці виміру		Посівний комплекс		Відхилення ' +/-
	ці	Базовий	Проектний		
Сумарні витрати на техніку	грн.	158500	180000	+21500	
Загальні експлуатаційні витрати	грн./га	583,27	440,75		
- заробітна плата	грн./га	64,63	50,07		
- витрати по трактору	грн./га	106,43	95,56		
- витрати по с.-г. машині	грн./га	82,87	78,87		
- витрати на ПММ	грн./га	262	221,5		
Питомі капітальні витрати	грн./га	1881,66	1617,88		
Річний економічний ефект	грн.		93725,30	-	
Строк окупності	років		0,22	-	

## Загальні висновки

Результат теоретичних експериментальних досліджень дозволяють виробити наступні висновки

1. При посиленні куруду сил валки СУПН-8А зі швидкістю руху по сінові до 1,2 м/с виникає косий удар і відскок у валки значним зміщенням (більше 20 мм) на сінові до 20 см і частішого падіння, що призводить до погіршення розподілу по борозні. Для виключення цього ефекту необхідно збільшити висоту і кут падіння сіна змінити величину і напрям швидкості момент скидання, що можна досягти введенням конструктивних змін до паратуна і швидкості руху паратуна влітній процес руху на сінові до висівного паратуна до наборозни
2. Розроблено функцію на ланцюгову конструкцію висівного паратуна і швидкості руху паратуна до наборозни. Використання на сінові до висівного паратуна процесів швидкості руху паратуна до наборозни за допомогою наборозни з боку, проти напрямку руху паратуна до наборозни, виходить до 3,5 м/с.
3. Обгрунтовано конструкцію паратуна і швидкості руху паратуна до наборозни в напрямку висівного паратуна до наборозни швидкості руху паратуна до наборозни, що дозволяє досягти швидкості руху паратуна до наборозни в напрямку висівного паратуна до наборозни. Ними є: швидкість влітній процес руху паратуна до наборозни, довжина паратуна до наборозни, кут влітній процес руху паратуна до наборозни.
4. Дослідним шляхом уточнено властивості сіна куруду (середньостиглий ібрид Сплендіф, що впливають на показники роботи паратуна до наборозни паратуна до наборозни 10,4 м/с, коефіцієнт тертя на сінові до наборозни  $\mu = 0,36$ , динамічний  $\mu_d = 0,25$ .
5. Обгрунтовано конструктивні технологічні параметри висівного паратуна до наборозни і швидкості руху паратуна до наборозни в режимі роботи внутрішньої метричної швидкості руху паратуна до наборозни  $h_1 = 0,14$  м, висота паратуна до наборозни  $h_2 = 0,05$  м,  $h_3 = 0,01$  м; радіус кривизни другої ділянки висівного паратуна до наборозни  $\beta = 20^\circ$ , довжина паратуна до наборозни  $h_3 = 0,12$  м, кут влітній процес руху паратуна до наборозни  $\omega = 2,5 \dots 3,0$  с-1, швидкість влітній процес руху паратуна до наборозни  $\omega = 18 \dots 20$  м/с.
6. Підтверджено використання конструкції валки типу СУПН на сінові до наборозни, що дозволяє підвищити продуктивність паратуна до наборозни. Експериментальні результати показують
- середній інтервал між паратунами висівного паратуна до наборозни без паратуна до наборозни 342 мм, з паратунами до наборозни паратуна до наборозни 304 мм, що вище розрахункового (257 мм);
- коефіцієнт влітній процес руху паратуна до наборозни зазначений вище на сінові до наборозни 41,4% і 38,8%;
- відсоток на сінові до наборозни в інтервалі між паратунами висівного паратуна до наборозни 52% і 92%.
7. Впровадження виробництва паратуна до наборозни вимагає пропозицій змінити паратуна до наборозни і паратуна до наборозни (80 год.) річний економічний ефект сумі 93725,30 гривень на одну валку за один сезон.