

**ДНІПРОВСЬКИЙ 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

**Підвищення ефективності посіву зернових культур  
шляхом обґрунтування конструктивно-  
технологічних параметрів пневматичної сівалки**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГAI-3-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Титоренко Владислав Романович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Кобець Олександр Миколайович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри  
тракторів і сільськогосподарських машин

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Титоренку Владиславу Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Підвищення ефективності посіву зернових культур шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневматичної сівалки

керівник роботи Кобець Олександр Миколайович к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від  
«12» листопада 2024 року № 3784

**2. Строк подання студентом роботи** 9.12.2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи** Напрацювання науковців кафедри ТСГМ за тематикою посівні машини. Паспортні дані на посівну техніку, каталоги, проспекти з характеристиками машин для посіву.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень за обраною тематикою. 2. Теоретичні дослідження посівної техніки. 3. Експериментальні дослідження посівної техніки. 4. Охорона праці при експлуатації посівної техніки. 5. Економічна ефективність роботи запропонованої сівалки. Загальні висновки. Список використаних джерел

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4) 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). Економічні показники (1 аркуш, А4). 5. Висновки (1 аркуш, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Кобець О.М., доцент		
нормоконтроль	Бойко В.Б., доцент		

7. Дата видачі завдання: 3.09.2024р

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 15.10.2024 р.	Виконано
2	Теоретичний	до 1.11.2024р.	Виконано
3	Експериментальний	до 19.11.2024 р.	Виконано
4	Охорона праці	до 22.11.2024 р.	Виконано
5	Економічний	до 29.11.2024 р.	Виконано
6	Демонстраційна частина	до 9.12.2024 р.	Виконано

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Титоренко В.Р.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Кобець О.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

№ п/п	форм	Позначення	Найменування	Кіл.	Приміт.
			<i>Текстові документи</i>		
A			<i>Пояснювальна записка</i>	82	
			<i>Демонстраційні матеріали</i>		
A			<i>Мета і задачі досліджень.</i>		
A			<i>Теоретичні дослідження</i>		
A			<i>Експериментальні</i>		
A			<i>Охорона праці</i>		
A			<i>Економічні показники</i>		
A			<i>Висновки</i>		

Подп. и Дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и Дата

Инв. № подл

**52.ДР.042.000.000.РД**

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Титоренко В.Р.		
Перев.		Кобець О.М.		
Т. контр.				
Н. контр.		Бойко В.Б.		
Зат.		Теслюк Г.В.		

**Відомість дипломної  
роботи**

Літ.	Арк.	Аркушів
	5	82
<b>ДДАЕУ</b>		
<b>МгАІ-3-23</b>		

## РЕФЕРАТ

Титоренко В.Р. Підвищення ефективності посіву зернових культур шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневматичної сівалки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Кваліфікаційну роботу виконано на кафедрі ТСГМ. Робота присвячена підвищенню ефективності посіву зернових культур шляхом розробки та обґрунтуванню конструктивно-технологічних параметрів пневматичної сівалки.

Робота складається з п'яти розділів де послідовно розкрито мету, завдання та вирішення поставлених задач. За результатами проведеної роботи сформовано висновки по кожному з етапів роботи.

За результатами проведених теоретичних і експериментальних досліджень сівалки опубліковано тези в збірнику тез III Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених 15 листопада 2024 «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу».

Ефективність запропонованого рішення підтверджена економічними розрахунками.

Ключові слова: способи посіву, висівний апарат, коефіцієнт варіації розподілення насіння, норма висіву, точність посіву.

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	11
1.1. Аналіз особливостей процесу посіву зернових колосових культур	11
1.2. Аналіз сівалок та висівних апаратів до них для посіву насіння зернових культур	14
1.3. Аналіз наукових досліджень з однозернового посіву насіння -	23
1.4. Висновки	26
1.5. Мета та задачі роботи	27
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
2.1 Об'єкт досліджень	28
2.2 Теоретичне дослідження процесу заповнення комірки насінням	29
2.3 Теоретичне дослідження процесу заповнення комірок та обґрунтування геометричних розмірів висівного барабану	32
2.4 Теоретичне дослідження процесу присмокування насіння до комірки висівного барабана	41
2.5 Висновки	48
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	49
3.1 Програма досліджень	49
3.2 Розробка експериментального зразка висівного апарату барабанного типу	49
3.3 Експериментальні дослідження висівного апарату в лабораторних умовах	51
3.4 Експериментальні дослідження пневматичної сівалки в польових умовах	57
3.5 Висновки	58

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	59
4.1 Організація охорони праці	59
4.2 Аналіз виробничого травматизму	60
4.3 Особливості охорони праці на виконанні посіву сільськогосподарських культур	64
4.4 Заходи по поліпшенню охорони праці та безпеки в НС	66
4.5 Висновки	71
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ	72
Висновки	77
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80
Додатки	83

## ВСТУП

**Актуальність кваліфікаційної роботи.** Колосові культури в загальному зерновому балансі України посідають друге місце після кукурудзи. Саме врожай колосових культур являється надійною сировиною галузі харчування. Згідно офіційних статистичних даних держстату [1] в 2023 році валовий збір пшениці склав 21,65 млн. тонн, що на 4,4% більше, ніж в попередньому році, ячменю 5,5 млн тонн, що на 2% менше ніж попередньому році.

Аграрії розуміють, що поява нових технологічних підходів поява нових високопродуктивних сортів зернових колосових культур дозволяє забезпечити харчову безпеку не тільки Україні, але і іншим державам, які залежать від експорту з нашої країни, а це близько 65 %. Найбільшими експортерами пшениці в 2023 році були такі країни, як Туреччина 21%, Румунія 15,8%, Іспанія 14%, Бангладеш 6,2% та Польща 5,5%.

Так вдосконалення способів сівби і засобів посіву дозволяють підвищити продуктивність вирощування колосових зернових культур таких, як пшениця, ячмінь, жито, овес і т.д. Впровадження точного координатного висіву зернових дозволить знизити витрати на посівний матеріал за рахунок зниження до 50% норми висіву завдяки формуванню оптимальних умов для розвитку насіння та рослин, підвищення врожайності при цьому складе до 10...15% [2]. Все більше уваги в останні роки приділяється впровадженню координатного однозернового висіву насіння, а саме реалізації точного розподілу насіння по площі поля [3].

Реалізація координатного висіву зернових колосових культур в світовій практиці поки, що не набула широкого поширення, що пов'язано з відсутністю високоефективних висівних апаратів, так і робочих інструментів для заробки насіння. Теоретичні і експериментальні дослідження в даному напрямку в основному спрямовані на впровадження та розробку висівних апаратів для агрегування з агромостами в мостовому землеробстві Ці роботи присвячені впровадження координатного висіву на вирощуванні овочевих культур [17].



У зв'язку з цим кваліфікаційна робота присвячена питанню розробки, дослідженню та обґрунтуванню конструктивно-технологічних параметрів пневматичної сівалки для координатного висіву зернових колосових культур.

**Мета роботи** – Підвищення ефективності посіву зернових культур шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневматичної сівалки

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити **наступні задачі**:

- виконати аналіз способів, технологій та посівної техніки для висіву зернових колосових культур;
- за результатами проведеного аналізу розробити конструкцію координатної пневматичної сівалки для висіву зернових колосових культур;
- завдяки проведеним дослідженням обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри сівалки;
- розробити заходи з безпеки праці на виконанні посіву МТА;
- провести економічні розрахунки для встановлення ефективності посіву запропонованою сівалкою.

**Об'єктом досліджень** є пневматична сівалка з висівним апаратом барабанного типу з внутрішнім заповненням комірок за рахунок вакууму.

**Предмет досліджень** процес однозернового відбору насіння дозатором, транспортування його до сошника та його висів в насінневе ложе.

**Наукова новизна кваліфікаційної роботи:**

- вперше проведені теоретичні дослідження процесу однозернового відбору насіння колосових культур пневматичним висівним апаратом барабанного типу з внутрішнім заповненням комірок;

вперше розроблена імітаційна комп'ютерна модель роботи пневматичного висівного апарата барабанного типу з внутрішнім заповненням комірок вакуумної дії.

## **Практичне значення кваліфікаційної роботи:**

Розроблена методика та отримані результати досліджень можуть бути використані при проектуванні та дослідженні пневматичних сівалок з висівними апаратами барабанного типу з внутрішнім заповненням комірок вакуумної дії.

Запропонована методика оцінки рівномірності розміщення насіння та рослин на полі, а підвищує точність обчислень від 8...10 % і скорочує витрати праці на їх обробку в 10...15 разів, в порівнянні з існуючими методиками.

### ***Засоби та методи досліджень.***

Дослідження проводились з використанням лабораторного обладнання відповідно до стандартних методик, а також застосовувались відео- та фотофіксації з подальшою цифровою обробкою результатів. Теоретичні дослідження ґрунтувалися на законах механіки, теорії машин і механізмів, а також вищій математиці. Експериментальні польові дослідження аналізувалися за допомогою математичного моделювання та оброблялись із використанням персональних комп'ютерів (ПК).

### **Апробація.**

За результатами виконаної кваліфікаційної роботи опубліковано в збірнику тез III Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених 15 листопада 2024 «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу».

# 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1. Аналіз особливостей процесу посіву зернових колосових культур

Сучасний посів зернових культур – це послідовне виконання операцій з відбору насіння з бункера, формування однонасінної дозування, подача насіння до сошників, вкладання в сформоване сошником насіннєве ложе з наступним загортанням. Дослідженню цих процесів присвячені роботи видатних науковців Л.В. Погорілого, П.М. Василенка, М.С. Шведика, А.П. Карпенка, В.Є. Комаристова, М.Н. Летошнєва, В.М. Гудзя, В. Ма та ін..

Прагнення науковців підвищити ефективність вирощування сільськогосподарських культур призвело до появи різних способів посіву. На даний час відомо близько двадцяти способів. Але найбільше поширення близько шести, що пов'язано з особливостями технологій вирощування культур та машин для їх реалізації. Одними із критеріїв оцінки якості посіву є глибина та рівномірність розподілу насіння по полю [4, 5]. Врахувавши різні способи посіву приведемо класифікацію в нашому випадку за видом сівби (рис. 1.1). За якою розділимо різні способи сівби за трьома видами: рядковим, без рядковим і однозерновий.

Виконавши аналіз встановлено, що найбільш актуальним вже багато років являється рядковий спосіб посіву зернових колосових культур. За шириною міжрядь рядків снує звичайний рядковий висів (15-30 см) та вузькорядний (7-10 см) [6, 7]. Посів зернових колосових культур в різних країнах здійснюється з різним міжряддям, наприклад за кордоном в Угорщині 15,2 см, в Польщі – 11 см, в Англії – 10,5 см, в Швеції – 13 см, в Фінляндії – 13 см, в Німеччині – 10...14 см, в США – 18...20 см, в Канаді – 7,5...30 см, в Франції – 15,5...20 см, в Австралії 15...18 см, в Естонії – 12,5...18 см і в Україні 7,5...20 см.

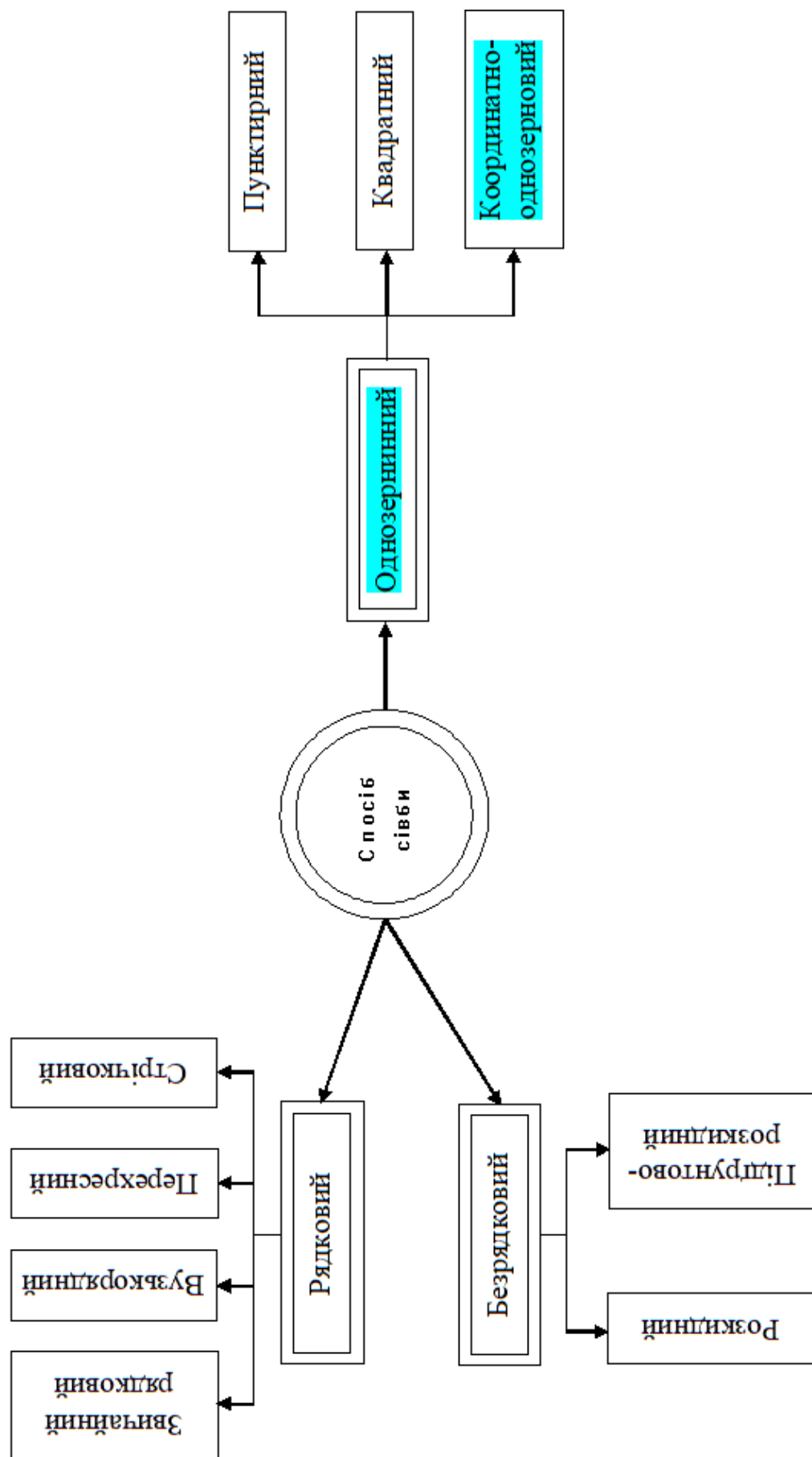


Рисунок 1.1 – Способи посіву зернових колосових культур

При виборі способу посіву необхідно враховувати такі фактори, як освітленість площі вирощування температурні показники регіону, вологозабезпеченість, родючість ґрунтів. За результатами проведених досліджень встановлено, що при звичайному посіві співвідношення сторін прямокутника 1:9, 1:6, а за використання вузькорядного 1:3,5 і 1:6. За такого співвідношення культури не рівномірно освітлюються, що обмежує опромінення фотосинтетичною активною радіацією «ФАР» та знижує врожайність зернових [8]. Особливо такі проблеми виникають за розміщення рядків з Сходу на Захід [9]. Вирішити дану проблему можливо розміщуючи рядки з Півночі на Південь, що досить складно реалізувати практично. Наукові роботи виконані німецькими вченими доводять, що зменшення міжрядь на один сантиметр дає приріст врожаю до 0,8 %.

Також дослідженнями встановлено що виконання перехресного посіву призводить до перевитратипального на виконання посіву та додаткового висушування землі. Також малий ефект спостерігається при використанні стрічкового посіву, що являється різновидом вузькорядного. За такого способу додатково виконується міжрядний обробіток витрати на який не компенсуються збільшенням врожайності.

Одним із найбільш перспективних способів посіву є однозерновий висів насіння. Задача цього способу розмістити насіння в рядку з мінімальним коефіцієнтом варіації розподілу. Такий підхід забезпечить рослини необхідною площею живлення, що позитивно вплине на їх розвиток та наступний врожай.

Для реалізації такого посіву наковцями Тернопільського НТУ розроблено координатний однозерновий спосіб посіву з розміщенням насіння у вершинах рівностороннього трикутника [9]. Відхиленням від заданих координат не повинно перевищувати  $\pm 10\%$ .

Проведемо аналіз існуючих технологій вирощування зернових колосових культур. Інтенсивна технологія на сьогоднішній день залишається найбільш прогресивною і використовується практично в 65 відсотках аграрних

господарств України. Особливістю технології є створення постійних колій починаючи від сівби до збирання зернових по яким переміщуються енергетичні засоби для внесення добрив, захисту рослин та збирання врожаю. Такий підхід дозволяє знизити вплив рушіїв на родючий шар ґрунту та знизити витрати на переміщення МТА.

Таким чином, виконавши аналіз сучасною технологією сівби зернових колосових культур є інтенсивна, з використанням рядкового координатного однозернового висіву. Завдяки рівномірному розміщенню рослин на ділянці поля створюються найсприятливіші умови для їх розвитку, що сприяє підвищенню врожайності культури.

## **1.2. Аналіз сівалок та висівних апаратів до них для посіву насіння зернових культур**

Висівні апарати сівалок являються основними вузлами від роботи яких залежатиме подальша схожість культур та валовий збір. Основна задача сучасної сівалки являється рівномірний розподіл насіння в рядку та підтримання постійної глибини закладання насіння з допустимим відхиленням, що не перевищує  $\pm 2\%$ . Робота апаратів механічного типу супроводжується травмуванням насіння, що пов'язано з особливостями процесу дозування насіння за цим показником встановлено допустиме значення не більше 0,5 %.

Дотримання встановлених показників являється основним пріоритетом при проектуванні та конструюванні сучасних сівалок та висівних апаратів до них. На сьогодні існують різноманітна кількість посівних машин різних виробників як закордонних так і вітчизняних. Відомими вітчизняними виробниками сівалок та посівних комплексів являються компанії «Ельворті», «Уманьферммаш», «Агро-Союз», «Велес-Агро», «ЮгАгроСервіс» та ін продукція яких відома і закордоном.

Широкий вибір посівної техніки не дає можливості її комплексно оцінити аграрію. Для систематизації сівалок науковцями запропоновано класифікацію за трьома ознаками наведену на рисунку 1.2.

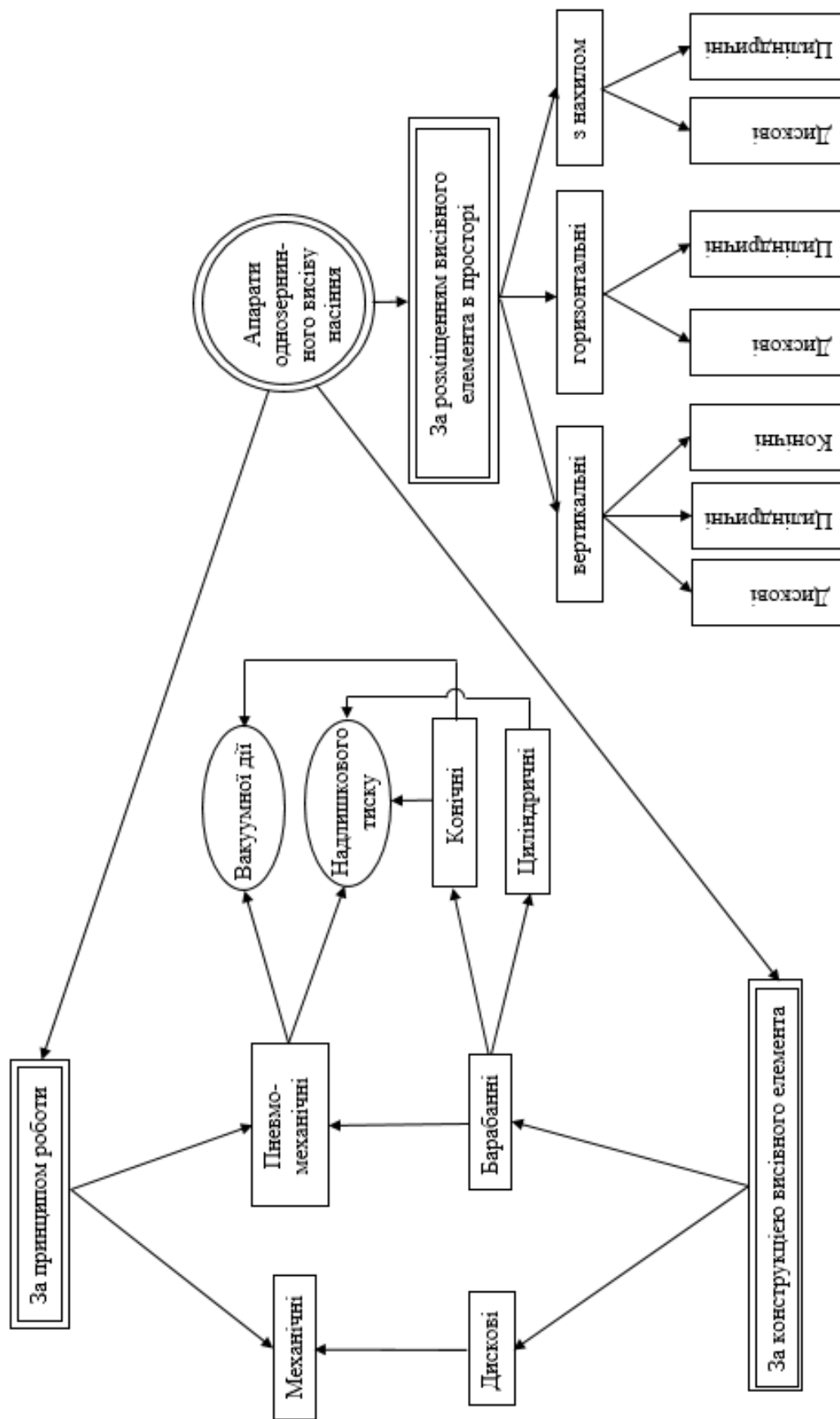


Рисунок 1.2 – Класифікація апаратів для однозернінного висіву насіння

Для аналізу посівної техніки розглянемо найбільш перспективні конструктивні рішення для точного посіву зернових колосових культур.

Розпочнемо свій огляд з висівного апарата барабанного типу (рис. 1.3) розробленого автором В.Ф. Кузьменко [10]. Завдяки еластичній оболонці 3 встановленій між зовнішнім 1 та внутрішнім циліндром 2 насіння 4, що надходить до комірчини 5 не травмується відбивачем 6. Виштовхування насінини відбувається за допомогою штифта 7. Але не великий ресурс роботи еластичної оболонки обмежує поширення апаратів такого типу.

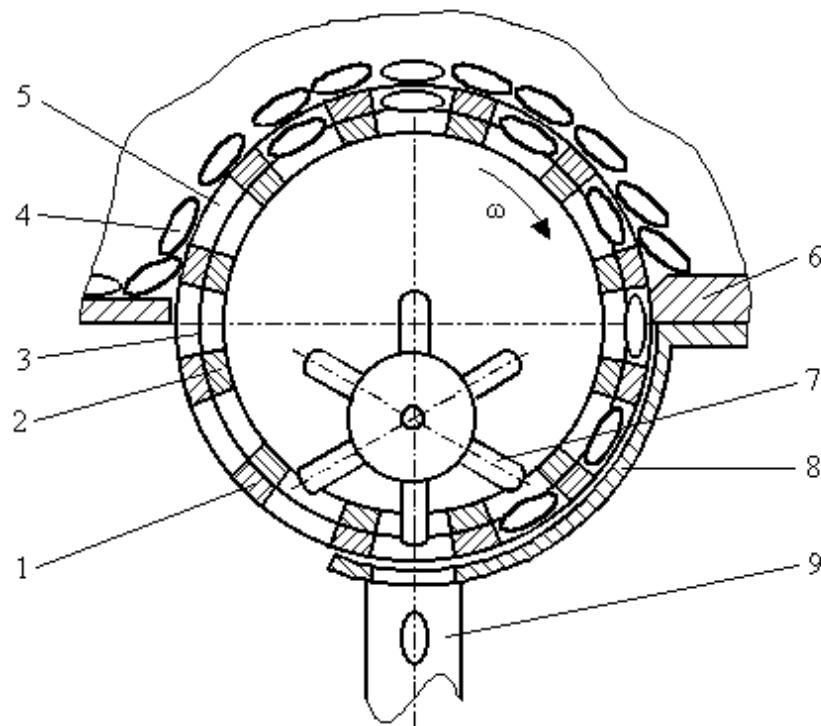


Рисунок 1.3 – Принципова схема механічного висівного апарата барабанного типу

Наступним представником механічних апаратів, що заслуговують на певний інтерес завдяки оригінальності конструкції, являється висівний апарат відцентрового типу з вертикальною віссю обертання (рис. 1.4) [11]. Процес висіву відбувається в наступній послідовності. З бункера 1 насіння потрапляє по вертикальним каналам 2 поясу 3 до камери 4, де за допомогою лопатевого активатора 5 починає обертатися та подається далі до конуса-живильника 7



через отвори 6 потрапля в середину, та за допомогою лопаток 8 відкидається на внутрішню поверхню конуса. Завдяки відцентровій силі насіння рухається вгору до пояса 3 звідкіля горизонтальними каналами 9 надходить до сошників. Основним недоліком апарату являється не достатня івномірність розподілення насіння по рядкам.

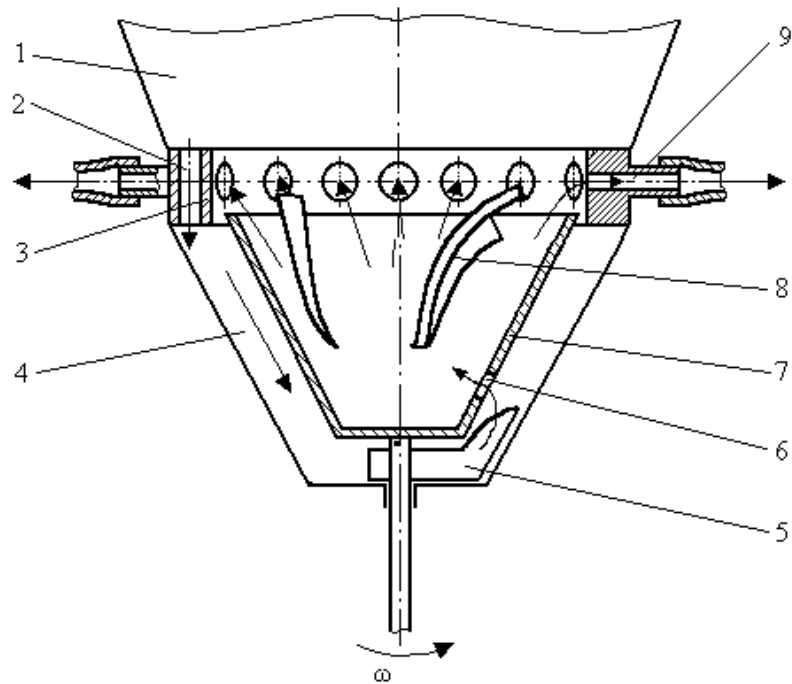


Рисунок 1.4 – Принципова схема відцентрового висівного апарата

Досить відомим представником пневматичних сівалок Aeromat (рис. 1.5) [12]. являється німецька компанія «Becker». Особливістю роботи таких сівалок з пневмо-механічним апаратом являється механічний відбір насіння за допомогою пневматичного підпору та пневматичного транспортування до сошників.

Процес посіву розпочинається з відбору насіння кукурудзи 1 з бункера 2 висівним диском 4 після чого зайве насіння видувається потоком повітря що створює форсунка 5 і тільки одна насінина притискається до комірки 3. В зоні розвантаження тиск спадає і насінина під дією гравітаційних сил падає на дно борозни.

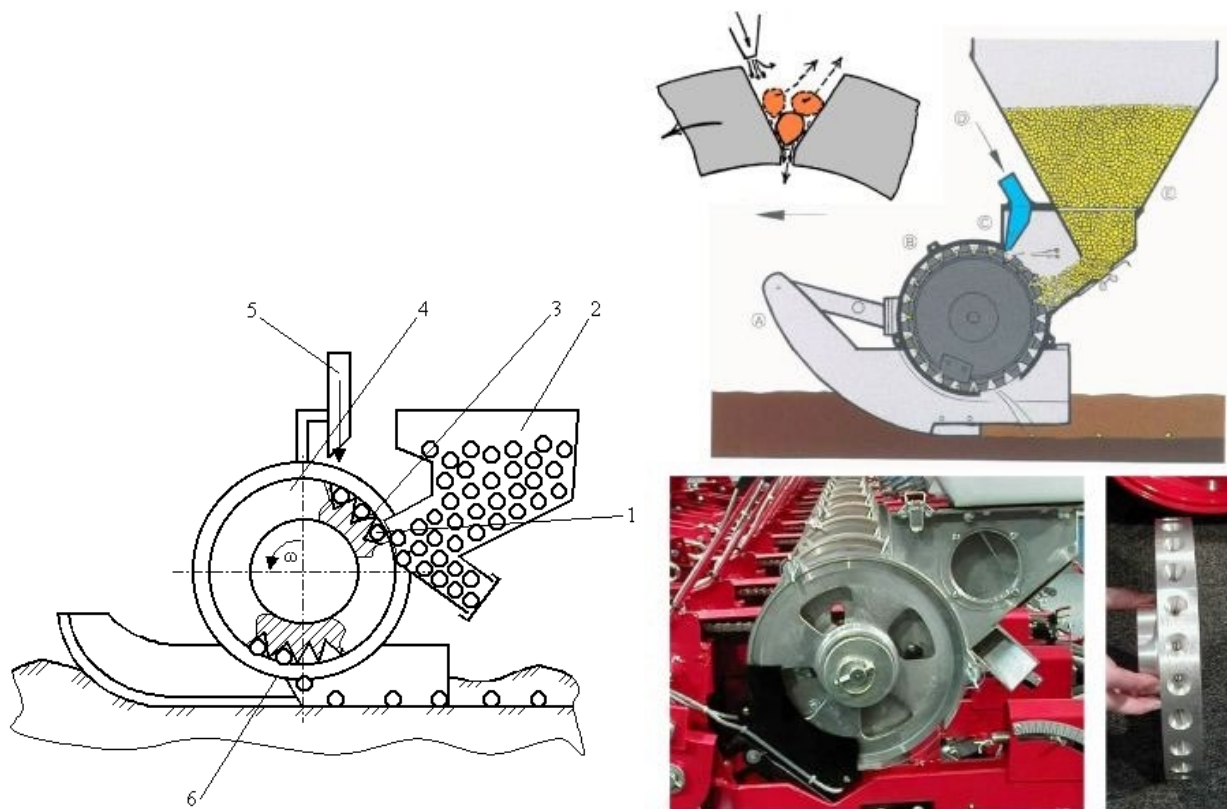


Рисунок 1.5 – Сівалка Aeromat компанії «Becker»

Ще одним представником, який використовує пневмо-механічний апарат але з централізованим розподіленням насіння є посівний комплекс Turbosem від компанії Агро-Союз (рис. 1.6)[13].



Рисунок 1.6 – Посівний комплекс Turbosem 2 (Агро-Союз)

Принцип роботи комплексу представлено на рисунку 1.7 З бункера насіння за допомогою дозатора 1 надходить до каналу пневмосистеми 3 підхоплюється потоком повітря та транспортується вертикальним каналом 4 до розподільника 5. При контакті з конусом 6 насіння розподіляється по насіннепроводам 8 посівних секцій з сошниками 9.

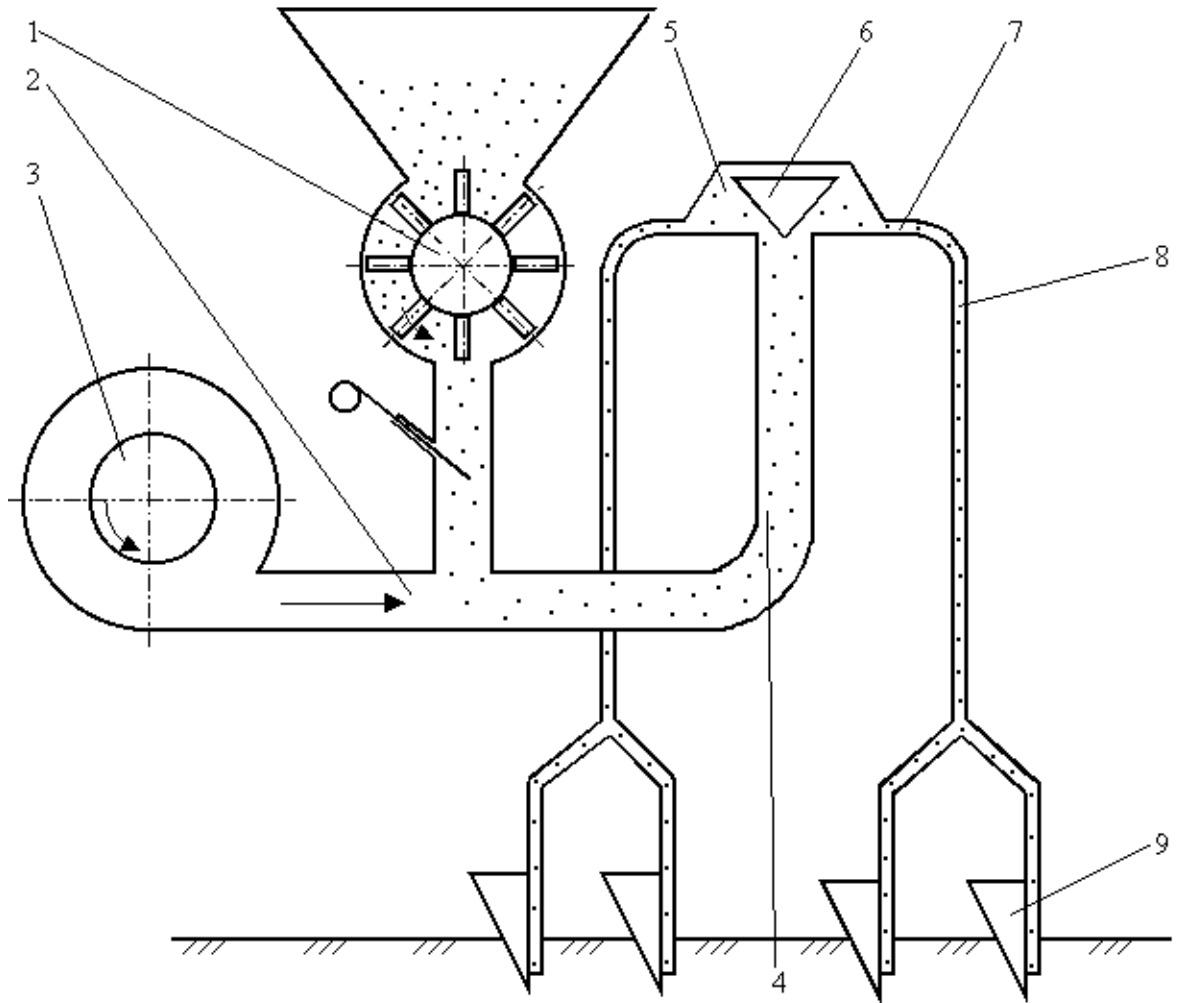


Рисунок 1.7 – Схема роботи посівного комплексу з пневмо-механічним централізованим посівним апаратом.

Основним елементом, який впливає на якість висіву в такій системі являється механічний розподільник. Робочий процес розподільника насіння має випадковий характер що знижує його рівномірність висіву.

Але не зважаючи на всі недоліки використання таких висівних апаратів отримало поширення на багатьох сівалках з централізованим висівом в таких країнах як Німеччина, Голландія, Франція, Канада, США та ін., завдяки високій

продуктивності процесу посіву особливо за використання технологій Mini-till та No-till.

Ще одним представником пневмо-механічних апаратів є барабанні апарати з надлишковим тиском (рис. 1.8) [14]. Барабан виконано у вигляді перфорованої труби з комірчинами, що мають форму зрізаного конуса. Відбір насіння в таких апаратах відбувається з використанням надмірного тиску а розвантаження комірок виконується за рахунок розрідження.

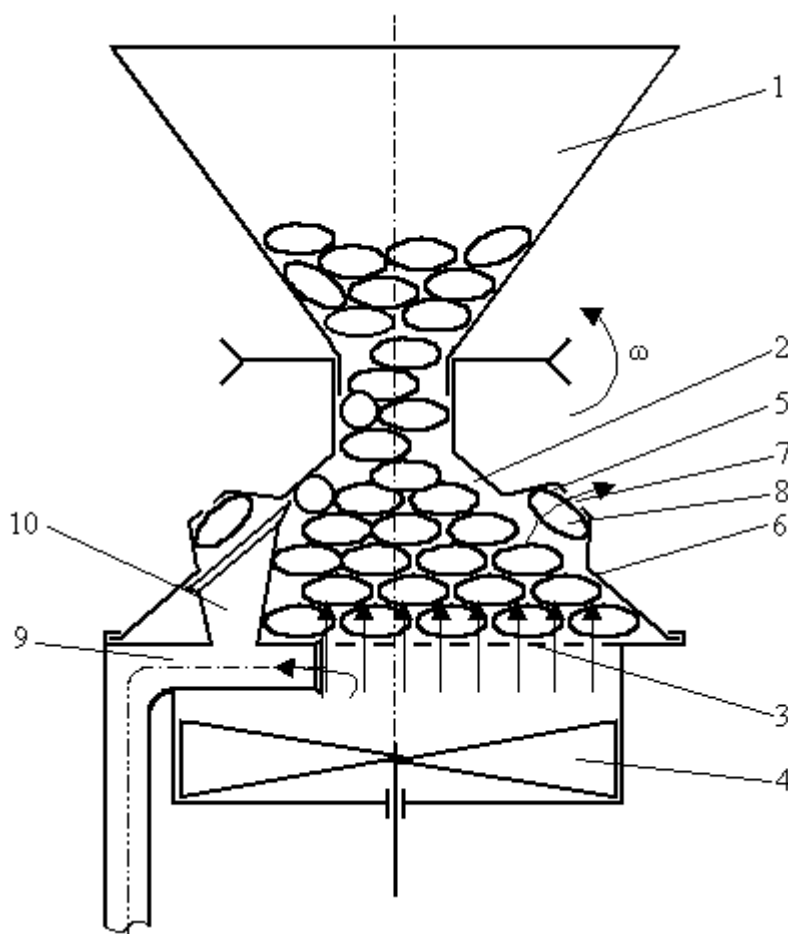


Рисунок 1.8 – Схема барабанного пневмо-механічного апарата

Висів насіння відбувається наступним чином. З бункера 1 насіння 8 надходить до забірної камери 2, де потоком повітря, що формує насос 4 через сітку 4 захоплюється та притискається до комірки 5 барабана 6 за рахунок витoku через канал 7. Крім каналу 7 повітря надходить в ежектор 9 створюючи в вловлювачі 10 розрідження для розвантаження комірок і висіву насіння.

Для реалізації точного однонасінного висіву завдяки простішій конструкції в порівнянні з апаратами надлишкового тиску отримали вакуумні висівні апарати.

Представником вакуумних апаратів барабанного типу являються сівалка Дніпрянка СВТВ-4 (рис. 1.9) [15]. Відбір насіння з бункера відбувається за рахунок вакууму, який створюється за допомогою вакуумної системи 1 між коміркою і порожниною барабана 2. Підбором комірок барабана здійснюється висів різних за розміром та формою насінин від 0,8 до 8 мм.

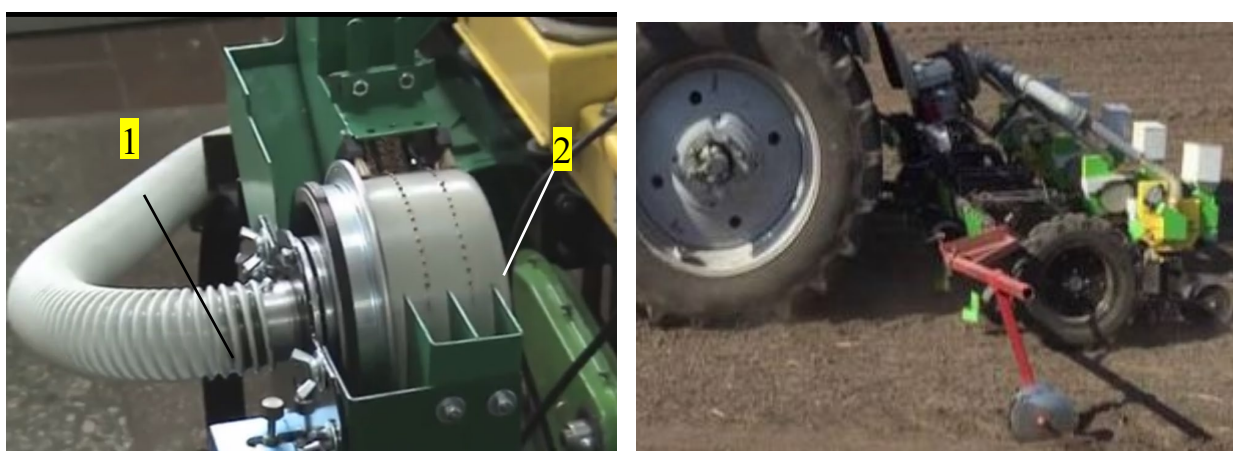


Рисунок 1.9 – Вакуумна сівалка барабанного типу СВТВ-4 (м. Дніпро)

1 – вакуумна система; 2 – висівний барабан

Реалізація точного висіву можлива за умови очистки та калібрування насіння.

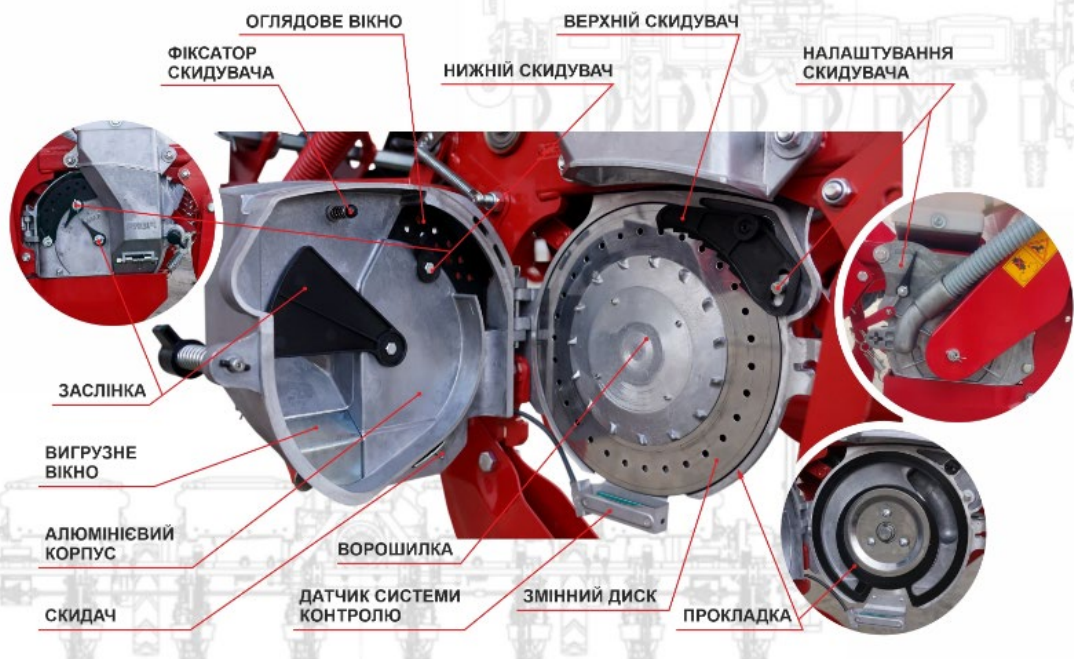
Ще одним представником з використанням вакуумних апаратів, але з дисковим робочим органом для відбору та дозування насіння є сівалка вітчизняного виробництва компанії Ельворті «Vesta 8 PROFI» рис. 1.10 [16].

Завдяки універсальності дискового висівного апарату сівалка дозволяє висівати насіння розміром від 0,7 мм до 10 мм. Процес зміни висівного диску становить не більше 3-5 хв, що дозволяє переналагодити сівалку одним працівником протягом однієї години.





*a*



*б*

Рисунок 1.10 – Сівалка Vesta 8 PROFI [16]:

а – загальна компоновка сівалки; б – вакуумний висівний апарат

Вакуум створюється вентилятором, що має привід від гідромотора гідравлічної системи трактора. Завдяки вакууму насіння надійно утримується в комірках висівного диска аж до місця розвантаження. Верхній та нижній скидачі прибирають зайве насіння забезпечуючи висів без двійників та пропусків. Контроль за роботою посівної секції здійснюється за допомогою датчика контролю висівів. Висівний апарат сівалки забезпечує точну та продуктивну роботу на швидкостях в 9,5...12 км/год.

### 1.3. Аналіз наукових досліджень з однозернового посіву насіння

Проблемі однозернового висіву насіння присвячені роботи багатьох науковців от основні з них Л.В. Погорілий, Г.М. Бузенков, П.М. Василенко С.В. Кардашевський, В.П. Чичкін, А.А. Будагов, Д.Г. Вальянов та інші.

Роботою по дослідженню процесу падіння зерна в насіннєве ложе, виникнення рикошету займалися такі науковці, як П.Т. Бабій, Г.М. Бузенков та С.А. Ма.

Процес переміщення насіння з бункера до дозатора досконально розглянуті в роботах акад. П.М. Василенка та А.М. Карпенка .

Процес заповнення комірчин висівного елемента вивчали В.Н. Цибулевський, Б.І. Журавльов, та інші дослідники. Так професором В.Н. Цибулевським запропоновано визначати силу присмоктування насіння до комірчин диска за формулою:

$$F_{np} = \Delta P \cdot f_{отв.}, \quad (1.1)$$

де  $\Delta P$  – значення різниці тиску відповідно в камері для насіння та вакуумній порожнині;

$f_{отв.}$  – значення площі перерізу присмоктувального отвору.

Такий вираз підходить для ідеальних випадків прилягання насіння до Однак цей вираз справедливий лише для ідеального випадку, коли насіння щільно прилягає до отвору. Тому професором Вальяновим Д.Г. запропоновано свій варіант визначення сили утримання насінини з врахуванням особливостей форми та положення насінини відносно отвору комірчки [18]:

$$F_{np} = k \cdot \Delta P \cdot f_{отв.}. \quad (1.2)$$

де  $k$  – поправочний коефіцієнт.

Завдяки науковим дослідженням академіка Погорілого Л.В. значення присмоктуючої сили для надійного захоплення та утримання насінини запропоновано визначати за формулою:

$$F_{np} = \frac{a \cdot F_{np.o.}}{\left(\frac{x}{d_{отв}}\right)^2 + a}, \quad (1.3)$$

де  $a$  – постійний показник, що становить 0,019;

$F_{np.o.}$  – сила присмоктування;

$x$  – відстань насінини відносно комірок, м;

$d_{отв}$  – діаметр отвору комірки, м.

За результатами аналогічних досліджень П.Т. Бабій [18] зробив висновки, що сила присмоктування залежатиме від аеродинамічних факторів, як повітря так і насіння:

$$F_{np} = k \cdot f_{отв} \cdot \gamma \cdot \frac{(v_n - v_n)^2}{g} \quad (1.4)$$

де  $\gamma$  – питома вага повітря;

$g$  – прискорення вільного падіння тіла.

$v_n$  і  $v_n$  – швидкість руху відповідно повітря та насіння;

Розглянуті результати теоретичних досліджень дозволяють отримати наближене значення сили присмоктування. В них не враховано сили ваги та тертя насіння, тиск і сили інерції насінин. Тому Шматом С.І. [19] розглянуто умову рівноваги всіх сил, що діють на насінину та запропоновано формулу для визначення сили присмоктування насінини до отвору комірки з врахуванням сили ваги та тертя насіння, тиск і сили інерції насінин:



$$P_{i\delta} \geq \frac{m \cdot g \cdot (1 - \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos \beta) + P_{\bar{a}} + m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \cos \beta}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{m \cdot \sqrt{\varepsilon^2 \cdot R + \omega^2 \cdot R^2 \cdot \cos \beta}}{\operatorname{tg} \varphi_1}, \quad (1.5)$$

де  $m$  – значення маси насінини, кг;

$g$  – постійна 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$\varphi_1$  – значення кута тертя насінини по диску, град.;

$\beta$  – значення кута обертання насіння, що присмокталося, відносно горизонтальної вісі диска, град.;

$P_{\delta}$  – значення сили осьового тиску насінину, Па;

$v_c$  – значення швидкості руху насінини, м/с;

$\omega$  – кутова швидкість висівного диска, рад/с;

$R$  – радіус висівного диска, м;

$\varepsilon$  – кутове прискорення висівного диска, рад/с<sup>2</sup>;

$R$  – радіус кола, на якому розміщені присмоктувальні отвори;

$\beta$  – кут повороту насінини, яка присмокталась, від горизонтальної осі диска;

$d_{отв}$  – діаметр отвору в диску.

Академіком Л.В. Погорілим значення величини розрідження запропоновано визначати за формулою [20]

$$H = \frac{P_{np}}{c \cdot F_{отв.}}, \quad (1.6)$$

де  $P_{np}$  – значення сили присмоктування, Н;

$F_{отв.}$  – значення площі поперечного перерізу отвору комірки, м.

$c$  – коефіцієнт аеродинамічного опору насінини;

де  $m$  – маса насінини;

$g$  – прискорення вільного падіння тіла;

$P_y$  і  $P_x$  – сила відповідно осьового (вертикального) і бокового тиску насіння;

$\beta$  – кут повороту комірчини відносно вертикальної осі;

$\varphi_1$  – кут тертя насіння об поверхню барабана;

$P_i$  – сила інерції.

Подальша робота при розробці та теоретичних дослідженнях пневматичної сівалки нового типу для координатного посіву буде проведена з врахуванням наукових робіт провідних фахівців та отриманих ними теоретичних положень.

#### **1.4. Висновки**

1. В результаті проведеного аналізу технологій та способів сівби зернових колосових культур встановлено що збільшення ширини міжрядь приводить до втрати вологи більш інтенсивно в порівнянні з вузькорядним способом, для отримання найкращого освітлення культур рядки повинні розміщуватися з півночі на південь. Наукові роботи виконані німецькими вченими доводять, що зменшення міжрядь на один сантиметр дає приріст врожаю до 0,8 %.

2. Найбільш перспективним способом сівби є координатний однозерновий. Завдяки більш рівномірному розміщенню рослин по площі поля створюються найкращі умови для їх розвитку та формування хороших врожаїв.

3. За результатами проведеного аналізу врахувавши переваги та недоліки існуючих апаратів для висіву зернових культур в наступному розділі буде розроблено пневматичну сівалку для реалізації однозернового координатного висіву насіння колосових культур.

## 1.5. Мета та задачі роботи

**Мета роботи** – Підвищення ефективності посіву зернових культур шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневматичної сівалки

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити **наступні задачі**:

- виконати аналіз способів, технологій та посівної техніки для висіву зернових колосових культур;
- за результатами проведеного аналізу розробити конструкцію координатної пневматичної сівалки для висіву зернових колосових культур;
- завдяки проведеним дослідженням обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри сівалки;
- розробити заходи з безпеки праці на виконанні посіву МТА;
- провести економічні розрахунки для встановлення ефективності посіву запропонованою сівалкою.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Об'єкт досліджень

За результатами проведеного аналізу встановлено наступне: для реалізації координатного висіву насіння зернових колосових культур найбільш ефективним буде використання пневматичних апаратів вакуумної дії. Завдяки особливості технологічного процесу а саме використання вакууму в роботі дозатора пневматичні сівалки забезпечують висіву просапних культур за швидкості 7-9 км/год з нормою висіву до 10...15 шт. на погонний метр за коефіцієнта варіації розподілу насіння в рядку від 3 до 10 %. Особливо актуальними являються висівні апарати внутрішнього заповнення так як вони більш адаптовані до посіву колосових культур з видовженим насінням. В зв'язку з відсутністю таких апаратів для висіву колосових культур, нами розроблено конструкцію пневматичної сівалки з висівним апаратом барабанного типу з внутрішнім заповненням (рис. 2.1).

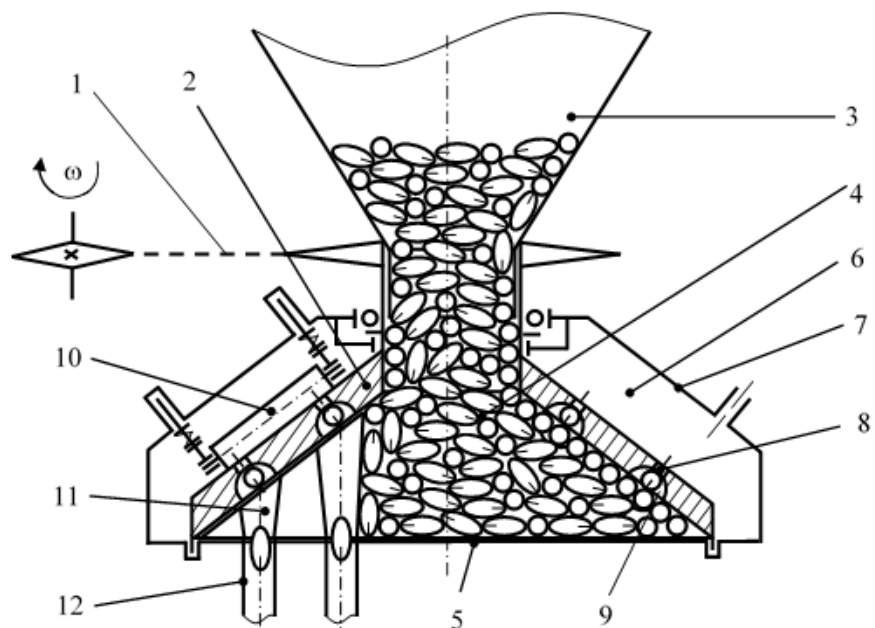


Рисунок 2.1 – Принципова схема висівного апарата пневматичної сівалки для координатного висіву насіння зернових колосових культур:

- 1 – ланцюговий привід; 2 – висівний барабан; 3 – бункер для насіння;
- 4 – забірна камера; 5 – основа; 6 – камера низького тиску; 7 – корпус;
- 8 – отвір; 9 – комірка; 10 – планка; 11 – вловлювач; 12 – насіннепровід

Висівний апарат сівалки працює за наступним алгоритмом за допомогою ходової частини сівалки на малюнку не вказано і ланцюгової передачі 1 передається крутний момент на зірочку барабана 2 висівного апарата. Насіння, з бункері 3, надходить до забірної камери 4. За допомогою пневматичної системи (на малюнку не вказано) утворюється вакуум в камері 6 висівного апарату. Завдяки розрідженню насіння захоплюється комірками 9 та надійно утримується в них до зони розвантаження де завдяки планці 10 відсікається вакуум. За рахунок гравітації насіння виходить з комірки та потрапляє до насіннеуловлювача 11 і далі по насіннепроводу 12 до сошників сівалки в насінневе ложе.

Запропонована конструкція пневматичної сівалки з висівним апаратом барабанного типу внутрішнього заповнення підвищує ефективність відбору насіння колосових культур, дозування та точного його висіву без травмувань. Вихідні дані для розрахунку пневматичної сівалки наведено в додатку А.

## 2.2 Теоретичне дослідження процесу заповнення комірки насінням

Процес потрапляння насіння з бункера 1 до забірної камери 3 через воронку 2 (рис. 2.2) відбувається під дією гравітаційних сил. Відцентрові сили, які виникають при обертанні барабану формують притискання насіння до внутрішніх стінок забірної камери 3 та комірок розміщених в ній.

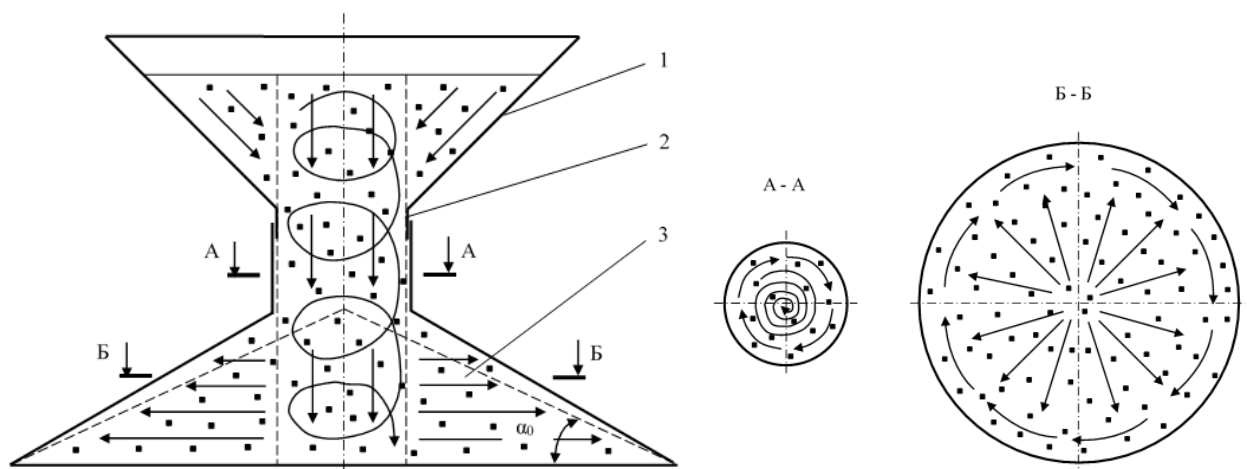


Рисунок 2.2 – Процес переміщення насіння з бункера до забірної камери:

1 – бункер для насіння; 2 – воронка; 3 – забірна камера

Детально цей процес описав академік Л.В. Погорілий [21] , так зерновий шар, контактуючи з обертовими частинами барабана також починає обертатися завдяки силам тертя з швидкістю:

$$V_n = 0,25 \cdot V_k \quad (2.1)$$

де  $V_k$  – швидкість руху комірок, м/с;

За результатами попередньо проведених досліджень встановлено, що насіння при контакті з внутрішньою поверхнею барабана спрямовується в бік його обертання в напрямку вектора  $\vec{V}$  вздовж комірки 2 (рис. 2.3) барабана 1.

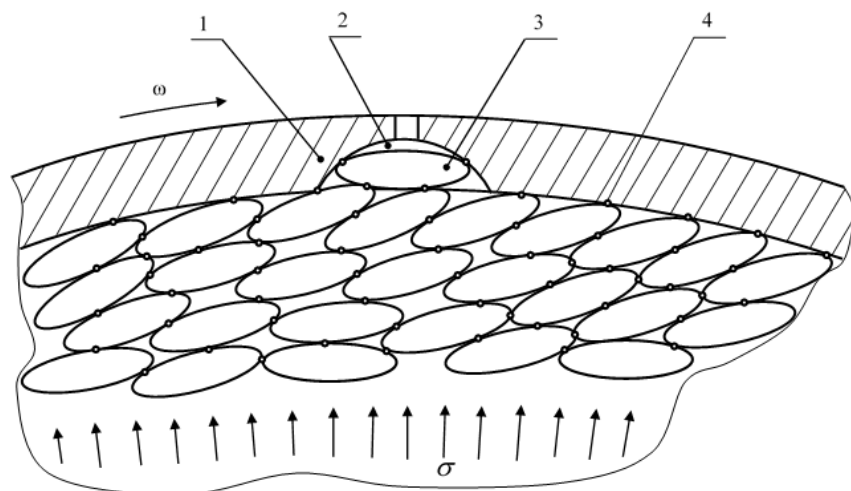


Рисунок 2.3 – Заповнення комірок насінням:

1 – барабан; 2 – комірка; 3 – зернина; 4 – зона контакту

Розглянемо детально входження насінини в комірку на різних етапах. Так при повороті барабана 1 (рис. 2.4а) на кут  $\varepsilon_1$  відносно планки 2 зернина 3 займе положення  $A$ , яке відповідатиме початку входження її до комірки 4.

Подальше обертання відносно планки 2 на кут  $\varepsilon_2$  (рис. 2.4б) відкриє на половину комірку, що дозволить насінині ще більше зануритися до неї та зайняти положення  $B$ . Обертаючись зерно повернеться проти годинникової

стрілки на кут  $\varphi_1$  відносно точки  $K$ . При повороті барабану на кут  $\varepsilon_3$  (рис. 2.4, в) під дією притискаючої сили шару зерна продовжить рух проти годинникової стрілки і точки  $K$  на максимальний кут  $\varphi_{\max}$  доки не дійде до точки  $B$ , що відповідає максимальній глибині комірки  $h_{\max}$ .

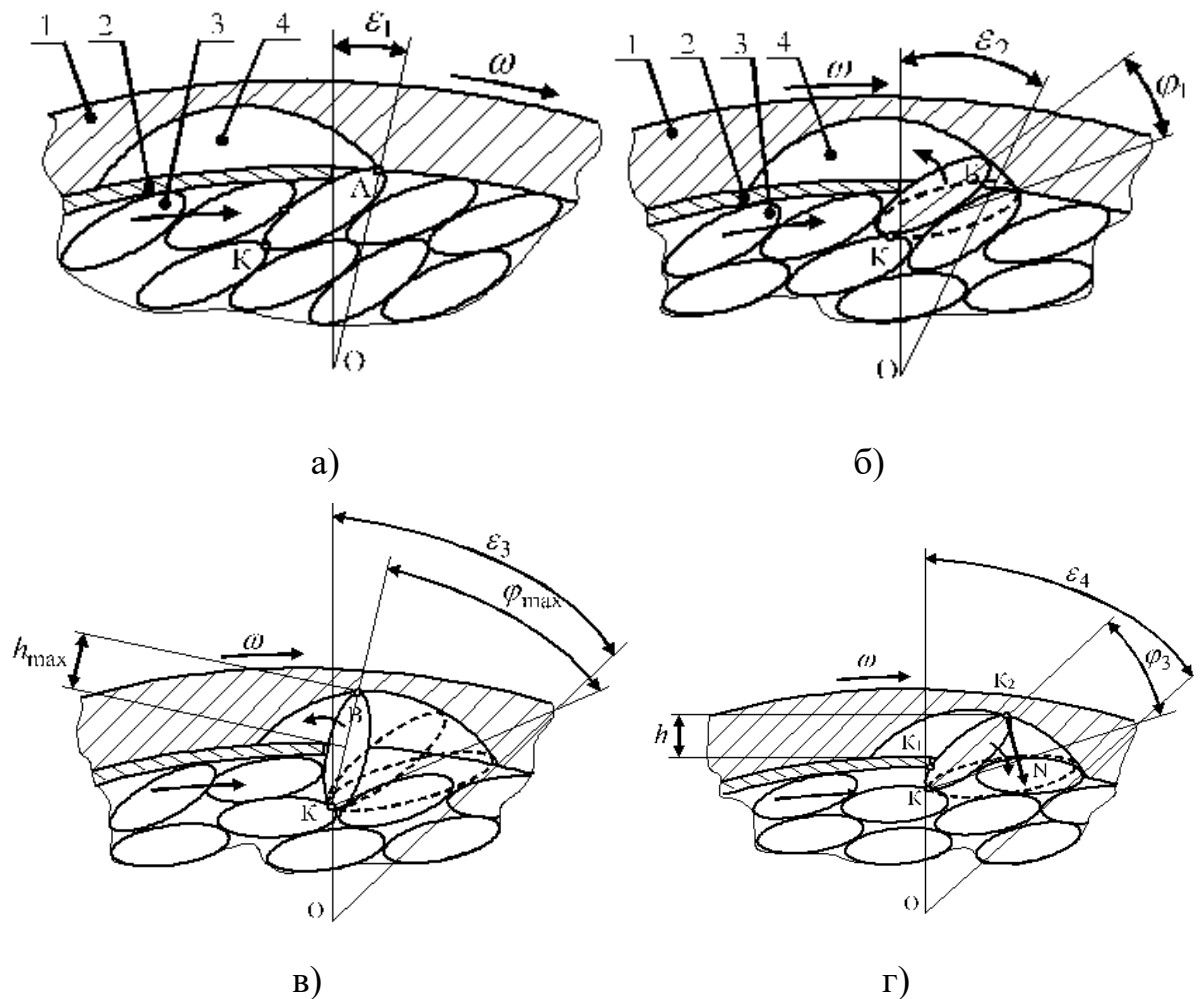


Рисунок 2.4 – Процес входження насіння до комірки висівного барабана  
 Подальше обертання призведе до контакту насінини з планкою 2 в точці  $K_1$  (рис. 2.4г) при цьому глибина комірки  $h$  відносно планки буде зменшуватися. Сила на верхній кінець насінини буде збільшуватися що призведе до повороту насінини тепер за годинниковою стрілкою до повного вкладання в комірку як показано на рис 2.3.

### 2.3 Теоретичне дослідження процесу заповнення комірок та обґрунтування геометричних розмірів висівного барабану

Для реалізації надійного заповнення комірок насінням без пропусків необхідно підібрати необхідні розміри дуги захоплення насіння комірками на барабані (рис. 2.5).

Значення кута дуги  $\psi$  визначимо за рівнянням:

$$\psi = \omega \cdot t, \quad (2.2)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання висівного елемента;

$t$  – час входження насінини в комірчину.

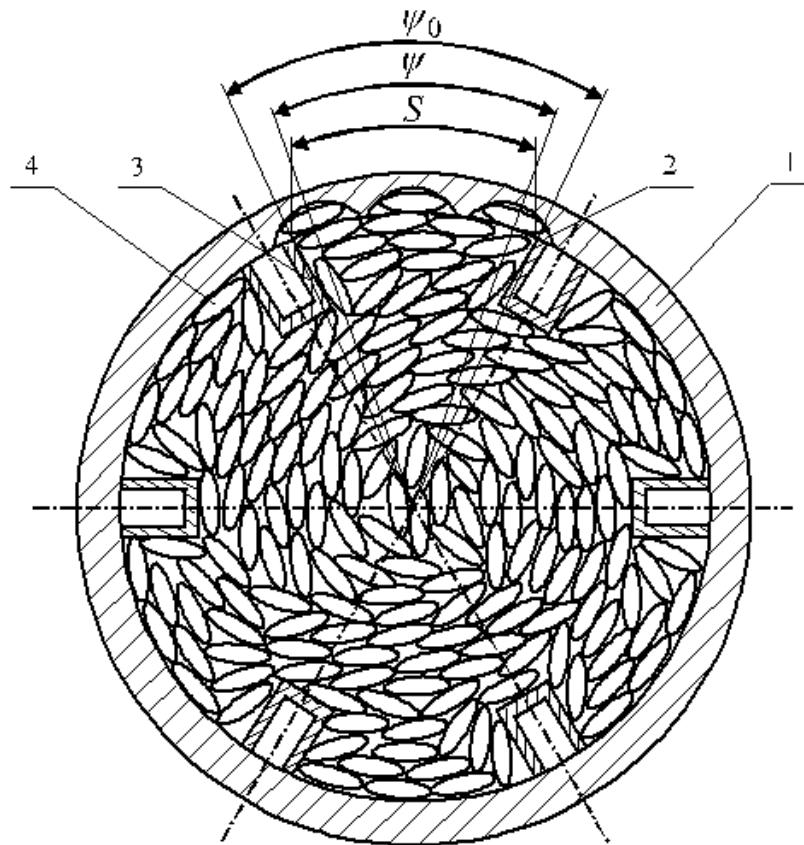


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема до визначення довжини дуги захоплення насіння барабана висівного апарату:

1 – барабан; 2 – комірка; 3 – вловлювач насіння; 4 – насіння



Враховуємо ймовірний характер заповнення комірок через кількість вдалих зустрічей комірок з насінням  $P$  рівняння 2.2 отримає вигляд [22]:

$$\psi = \frac{\omega \cdot t}{P}. \quad (2.3)$$

Визначимо час входження насінини до комірки  $t$  для цього розглянемо рисунок 2.6.

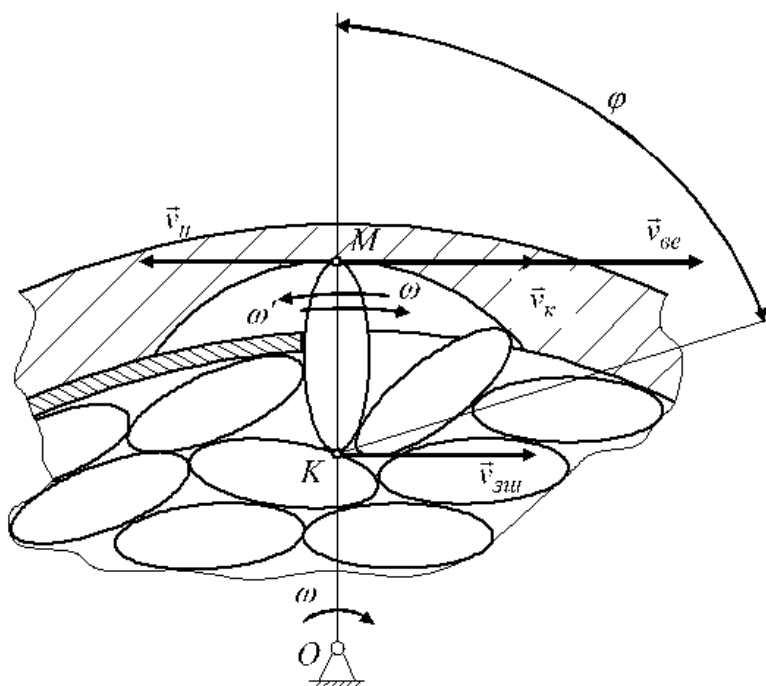


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема для визначення часу входження насінини до комірки

На першому етапі розрахунку часу  $t$  запишемо рівняння для визначення кута  $\varphi$  повороту насінини при входженні в комірку:

$$\varphi = \omega' \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot t^2, \quad (2.4)$$

де  $\omega'$  – кутова швидкість обертання насінини відносно точки  $K$  рад/с;

$t$  – час, повороту насінини в комірці, с;

$\varepsilon$  – кутове прискорення насінини при повороті, рад/с<sup>2</sup>

Значення кутового прискорення насінини визначимо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\omega' - \omega_0}{t - t_0}, \quad (2.5)$$

тут  $\omega_0$  – значення початкової кутової швидкості обертання насінини, рад/с. На початку обертання  $\omega_0 = 0$ , тоді рівняння 2.5 запишемо як:

$$\varepsilon = \frac{\omega'}{t}, \quad (2.6)$$

а враховуючи, те що

$$\omega' = \frac{v_H}{R_H}, \quad (2.7)$$

де  $v_H$  – значення лінійної швидкості насінини, м/с;

$R_H$  – значення відстані від точки  $M$  до вісі обертання зернини (т.  $K$ ), що дорівнює довжині зернини  $R_H = l$ , тоді рівняння (2.6) отримає вигляд:

$$\varepsilon = \frac{v_i}{l \cdot t}. \quad (2.8)$$

Значення лінійної швидкості зернини визначимо врахувавши вектор швидкості шару з зерна  $\vec{v}_{зи}$ , та вектор лінійної швидкості  $\vec{v}_{ве}$  що проходить через точку  $M$  барабана:

$$v_H = v_{ве} \pm v_{зи}, \quad (2.9)$$

Знак мінус в рівнянні використовуємо за руху насінини проти годинникової стрілки.

Значення швидкості барабана визначимо за формулою:

$$v_{\text{бб}} = \omega \cdot R, \quad (2.10)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість барабана, рад/с;

$R$  – радіус висівного барабана, м.

Значення швидкості руху шару зерна визначимо за формулою [21]:

$$v_{\text{зу}} = 0,25 \cdot v_{\text{бб}}. \quad (2.11)$$

Враховавши рівняння 2.10 і 2.11 вираз 2.9 прийме вигляд:

$$v_i = (1 \pm 0,25) \cdot \omega \cdot R. \quad (2.12)$$

Підставимо вираз 2.12 у формулу 2.7 отримаємо:

$$\omega' = \frac{(1 \pm 0,25) \cdot \omega \cdot R}{l}, \quad (2.13)$$

Тоді рівняння 2.6 запишемо як:

$$\varepsilon = \frac{(1 \pm 0,25) \cdot \omega \cdot R}{l \cdot t}. \quad (2.14)$$

Отже, рівняння 2.5 з врахуванням 2.13 і 2.14 остаточно отримає вигляд:

$$\varphi = \frac{3}{2} \cdot (1 \pm 0,25) \cdot \frac{\omega \cdot R}{l} \cdot t, \quad (2.15)$$

Час повороту зернини за годинниковою  $t_1$  та проти  $t_2$  годинникової стрілки визначимо за рівнянням:

$$t_{1,2} = \frac{2 \cdot \varphi \cdot l}{3 \cdot (1 \pm 0,25) \cdot \omega \cdot R}. \quad (2.16)$$

Тоді загальний час входження насінини в комірку визначимо як суму часу  $t_1$  та часу  $t_2$ :

$$t = t_1 + t_2, \quad (2.17)$$

Виконавши математичні перетворення з врахуванням рівняння (2.16) отримаємо:

$$t = 1,422 \cdot \frac{\varphi \cdot l}{\omega \cdot R}. \quad (2.18)$$

З рівняння видно, що час входження насінини в комірку  $t$  прямо залежить від довжини  $l$  зернини та кута  $\varphi$  її повороту навколо відносно точки дотику з шаром насіння і зворотно залежить від радіуса  $R$  та кутової швидкості  $\omega$  обертання барабана висівного апарата.

За результатами розрахунків отримано графічні залежності часу  $t$  від кутової швидкості  $\omega$  барабана за різного радіуса  $R$ .

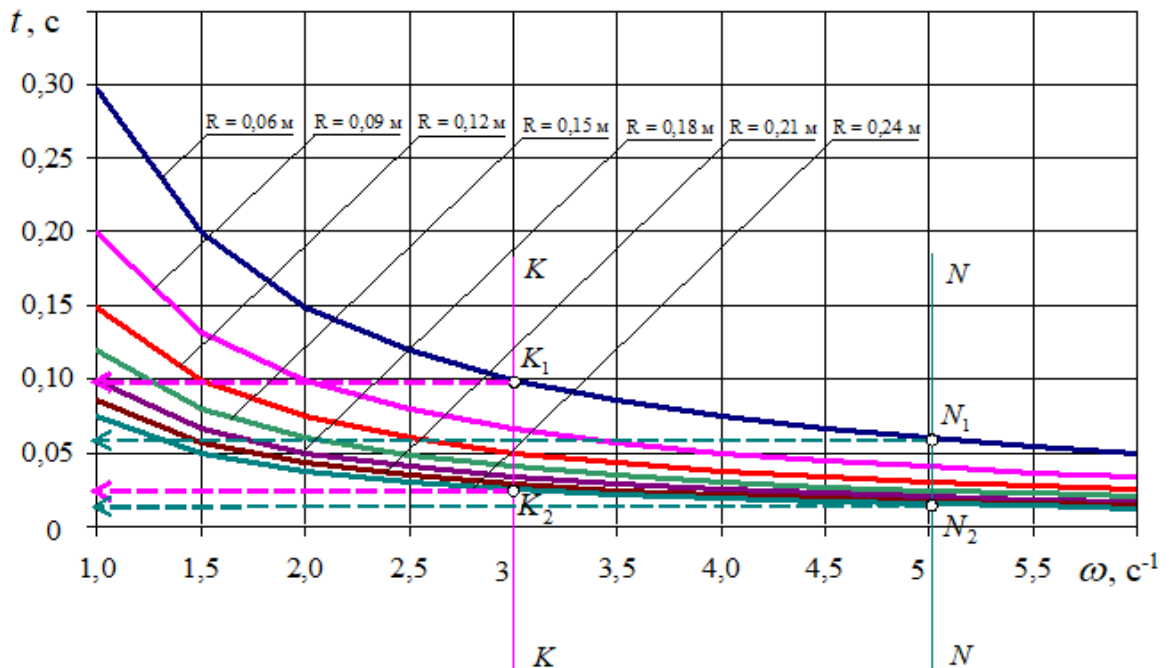


Рисунок 2.7 – Результати теоретичних досліджень часу заповнення комірок  $t$

З наведеного графіка видно, що зі збільшенням швидкості  $\omega$  обертання

барабана час  $t$  входження насінини в комірчину зменшується. При цьому найбільш інтенсивно (в два рази) він зменшується при збільшенні кутової швидкості від 1,5 до 2,5 рад/с. В межах від 2,5 до 3,5 рад/с час заповнення комірки зменшується в 1,5 рази, а в межах від 3,5 до 4,5 рад/с – в 1,35 рази і в діапазоні від 4,5 до 5,5 рад/с – в 1,2 рази.

Згідно агрономічного проведення сівби виконується зна швидкості не менше 7,5 км/год, що відповідає виробничим умовам і кутовій швидкості  $\omega$  обертання барабана не менше 3,5...5,5 рад/с. З наведеного графіка видно, що при обертанні барабана з кутовою швидкістю  $\omega = 3,5$  рад/с час  $t$  входження насіння пшениці в комірчину в залежності від радіуса її розміщення на поверхні барабана, в межах від 0,065 до 0,25 м, варіює в діапазоні 0,098...0,025 с, а при  $\omega = 5,5$  рад/с – в діапазоні від 0,055 с до 0,016 с.

Враховавши рівняння 2.3 визначимо значення довжини дуги захвату насіння за формулою:

$$S = \psi \cdot R, \quad (2.19)$$

де  $\psi$  – кут дуги захоплення насіння, град;

$R$  – значення радіуса розміщення комірок на барабані, м.

Враховавши універсальність пневматичної сівалки для реалізації посіву насіння різних колосових культур за результатами теоретичних досліджень встановлено, що радіус верхньої частини барабану  $R_1 = 0,05$  м, нижньої частини барабану  $R_2 = 0,25$  м, час заповнення комірок знаходиться в межах чини  $t = 0,149...0,16$  с в залежності від кутової швидкості обертання барабана, а довжина дуги захвату насіння  $S = 0,08$  м.

На наступному етапі досліджень визначимо кут нахилу конуса висівного барабана  $\alpha$ , значення якого також впливає на процес заповнення комірок (рис.2.8).

Визначимо площу, що сприймає тиск шару насіння за таких умов шар насіння сипкий тому насіння сприймає тиск тільки відкритою частиною на ділянці  $b$  в вертикальній площині, на ділянці  $m$  в горизонтальній площині. Визначимо величини  $b$  і  $m$  за рівнянням згідно (рис. 2.8) [23], з якої видно, що

$$b = AB + BC = O_1C_1 + AB, \quad (2.20)$$

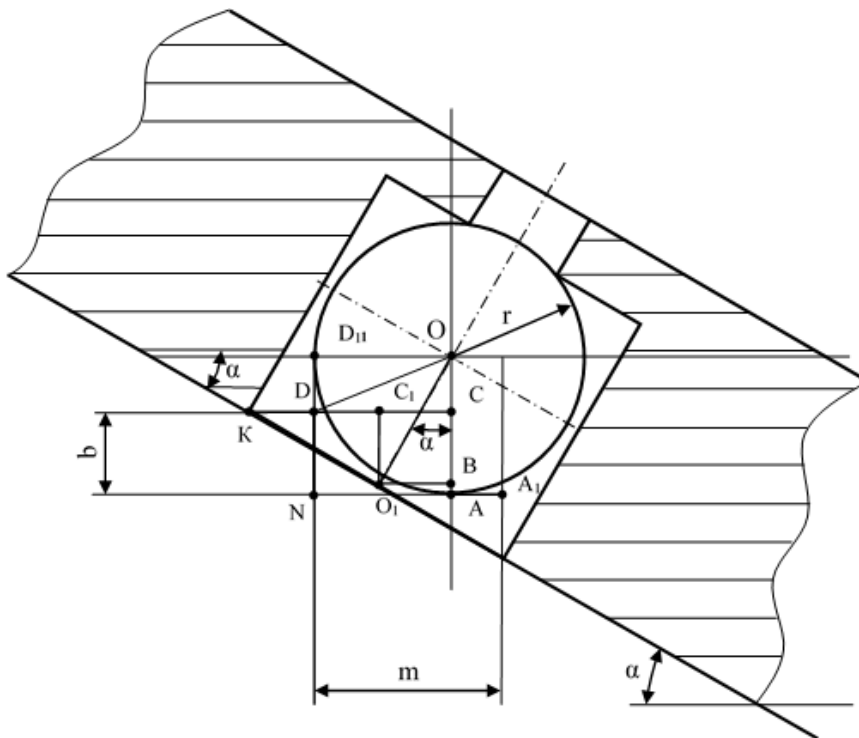


Рисунок 2.8 – Розрахункова схема для визначення кута конуса барабана

Зважаючи на те що  $AB = r \cdot (1 - \cos \alpha)$ , тоді

$$b = r \cdot \sin \alpha + r \cdot (1 - \cos \alpha) = r \cdot (1 - \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}). \quad (2.21)$$

Відповідно  $\angle DOA_1 = 90^\circ$ , тоді  $AA_1 = DD_1$ , а  $DD_1 = CO$ , тоді  $CO = AO - AC$ ,

$$\text{або } CO = r - b = r - r \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}\right) = r \cdot \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}.$$

Значення  $m$  визначимо за формулою:

$$m = r + r \cdot \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)} = r \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}\right). \quad (2.22)$$

Враховуючи форму зернин колосових культур в вигляді еліпсоїда визначимо площі  $S_1$  і  $S_2$  в різних його проекціях з рівнянь 2.21 та 2.22.

Тоді

$$S_1 = \pi \cdot l \cdot b = \pi \cdot l \cdot r \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}\right), \quad (2.23)$$

$$S_2 = \pi \cdot l \cdot m = \pi \cdot l \cdot r \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}\right). \quad (2.24)$$

Значення сили бічного тиску шару насіння визначимо за формулою:

$$P_{\bar{o}} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot l \cdot r \cdot \varepsilon \cdot n' \cdot k_{\bar{o}} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}\right). \quad (2.25)$$

Значення сили вторинного бічного тиску визначимо за формулою:

$$P_{\bar{o}\bar{o}} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot l \cdot r \cdot \varepsilon^2 \cdot n' \cdot k_{\bar{o}} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}\right). \quad (2.26)$$

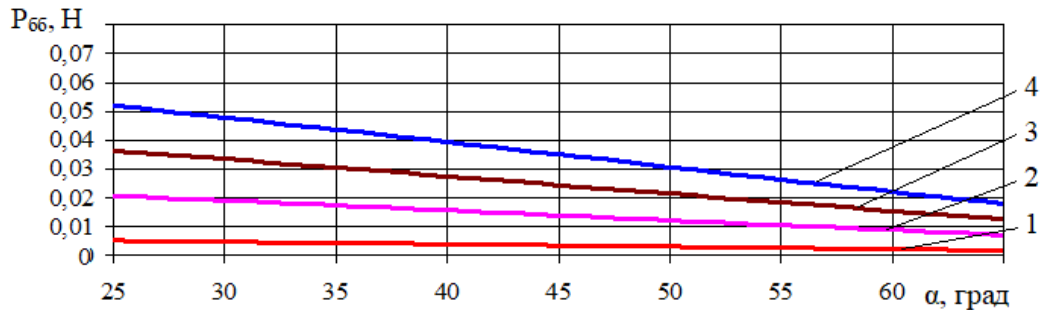
Значення результуючої сили бічних тисків визначимо за рівнянням [24]:

$$P_{p\bar{o}} = \sqrt{(P_{\bar{o}})^2 + (P_{\bar{o}\bar{o}})^2}, \quad (2.27)$$

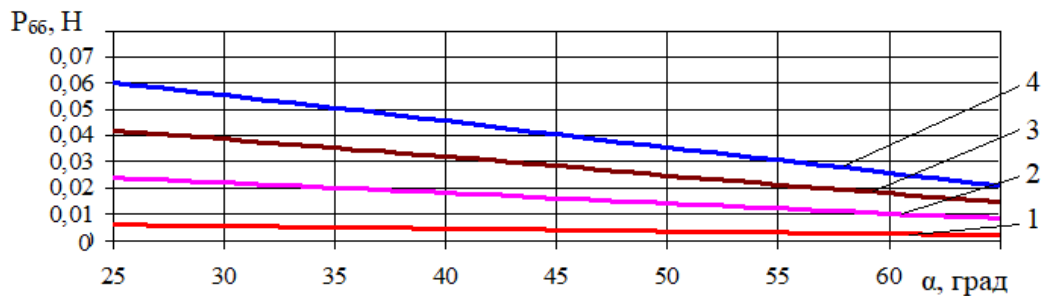
Враховавши рівняння (2.25) і (2.26) отримаємо:

$$P_{p\bar{o}} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot l \cdot r \cdot \varepsilon \cdot n' \cdot k_{\bar{o}} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \sqrt{\left(1 - \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}\right)^2 + \varepsilon^2 \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}\right)^2} \quad (2.28)$$

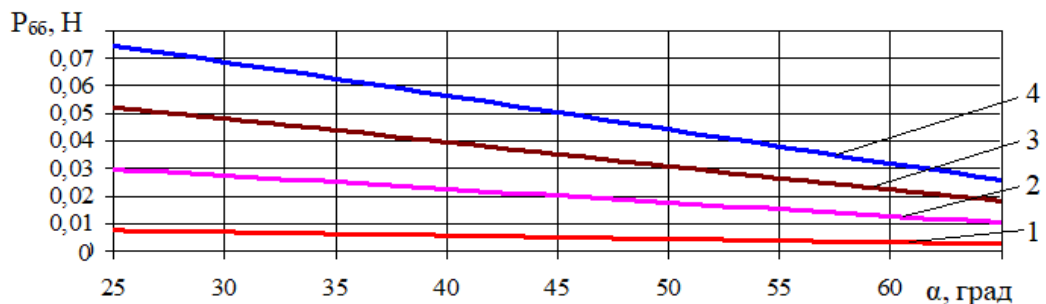
За результатами проведених розрахунків отримано графічні залежності (рис. 2.9) сил бічного  $P_{\sigma}$  та вторинного  $P_{\sigma\sigma}$  бічного тисків та їх результуючої  $P_{p\sigma}$  від кута нахилу конуса барабана  $\alpha$  відносно його основи.



а)



б)



в)

Рисунок 2.9 – Графічна залежність бічних сили від кута нахилу конуса барабана за різної висоти шару насіння в бункері:

1 –  $h = 0,1$  м; 2 –  $h = 0,4$  м; 3 –  $h = 0,7$  м; 4 –  $h = 1$  м

За результатами отриманих досліджень та врахувавши роботу сівалки на схилах до 30 градусів кут конуса висівного барабана не повинен перевищувати 40 градусів.



## 2.4 Теоретичне дослідження процесу присмоктування насіння до комірки висівного барабану

Для реалізації надійного утримування насіння в комірці висівного барабану додатково використаємо силу присмоктування  $P_{np}$  створену пневматичної системою сівалки. Для розрахунку необхідної сили присмоктування насінини до комірки розглянемо рівняння рівноваги сил, що діють на насінину в комірці.

Для цього складемо розрахункову схему сил, що діятимуть на насінину в координатах  $xuz$  (рис. 2.10).

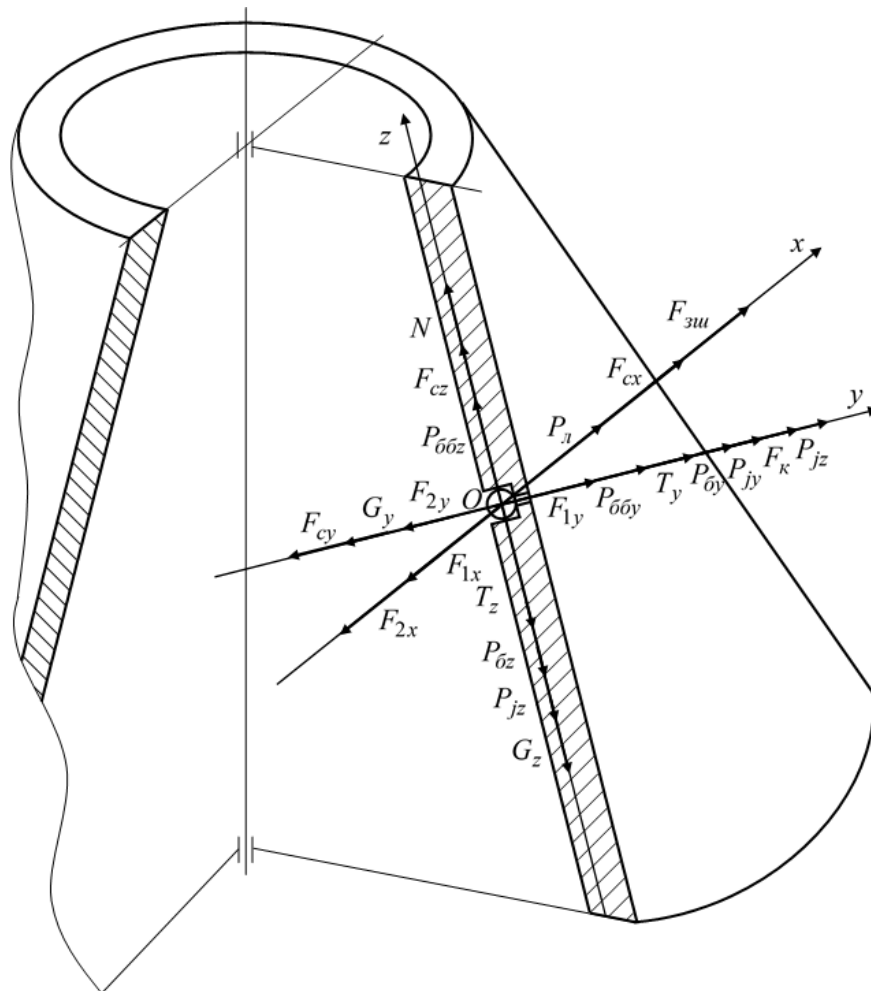


Рисунок 2.10 – Розрахункова схема сил, що діють на зернину в координатах  $xuz$

Рівняння рівноваги для насінини в комірці матиме вигляд:

$$\begin{cases} P_l + F_{cx} + F_{зу} - F_{1x} - F_{2x} = 0; \\ P_{np} + F_{\kappa} + P_{jy} + P_{\delta y} + P_{\delta\delta y} + T_y + F_{1y} - F_{2y} - G_y - F_{cy} = 0; \\ N + F_{cz} + P_{\delta\delta z} - T_z - P_{\delta z} - P_{jz} - G_z = 0. \end{cases} \quad (2.29)$$

Значення нормальної сили  $N$  визначимо за рівнянням:

$$N = T_z + P_{\delta z} + P_{jz} + G_z - F_{cz} - P_{\delta\delta z}, \quad (2.30)$$

Значення присмоктуючої сили згідно 2.29 визначимо за формулою

$$\begin{aligned} P_{np} &= F_{2y} + G_y + F_{cy} - F_{\kappa} - P_{jy} - P_{\delta y} - P_{\delta\delta y} - T_y - F_{1y} = \\ &= G_y + F_{cy} - F_{\kappa} - P_{jy} - P_{\delta y} - P_{\delta\delta y} - T_y \end{aligned} \quad (2.31)$$

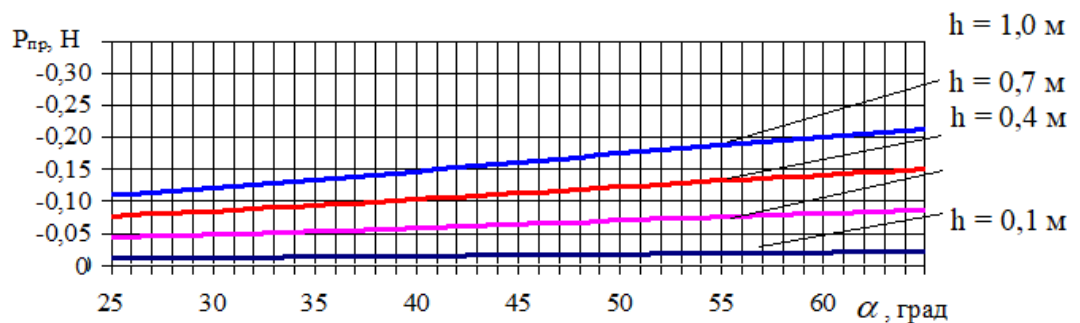
Враховавши формули для знаходження проекцій сил, які входять в рівняння, отримаємо:

$$\begin{aligned} N &= \frac{\pi}{2} \cdot l \cdot r \cdot \varepsilon \cdot n' \cdot k_{\delta} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot [\cos(\alpha + \delta) \times \\ &\times \sqrt{\sin^2 \beta + \varepsilon^2 \cdot (1 - \cos^2 \beta \cdot \cos^2 \alpha)} \cdot (\cos^2 \gamma - \sin^2 \gamma) + \\ &+ \cos \alpha \cdot (1 - \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}) - \varepsilon \cdot \sin \alpha \cdot (1 + \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)})] + \\ &+ m \cdot (\omega^2 \cdot R \cdot \cos \alpha + g \cdot \sin \alpha), \end{aligned} \quad (2.32)$$

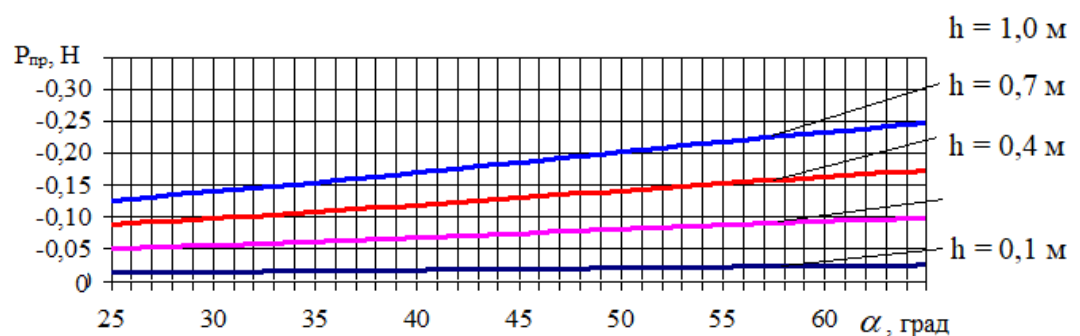
$$\begin{aligned} P_{np} &= \frac{\pi}{2} \cdot l \cdot r \cdot \varepsilon \cdot n' \cdot k_{\delta} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot [\sin(\alpha + \delta) \times \\ &\times (\sin^2 \gamma - \cos^2 \gamma) \cdot \sqrt{\sin^2 \beta + \varepsilon^2 \cdot (1 - \cos^2 \beta \cdot \cos^2 \alpha)} - \\ &- (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot (1 - \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)}) + \\ &+ \varepsilon \cdot (f \cdot \sin \alpha - \cos \alpha) \cdot (1 + \sqrt{1 - \sin(2 \cdot \alpha)})] + \\ &+ m \cdot (g \cdot (\cos \alpha - f \cdot \sin \alpha) - \omega^2 \cdot R \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha)). \end{aligned} \quad (2.33)$$

Згідно рівняння (2.33) сила присмоктування насінини до комірки барабана залежить крім властивостей насіння (форма, розміри, вага, парусність, щільність та ін), ще і від конструктивно-технологічних параметрів висівного апарата сівалки ( $\alpha$ ,  $R$ ,  $h$ ,  $\omega$ ).

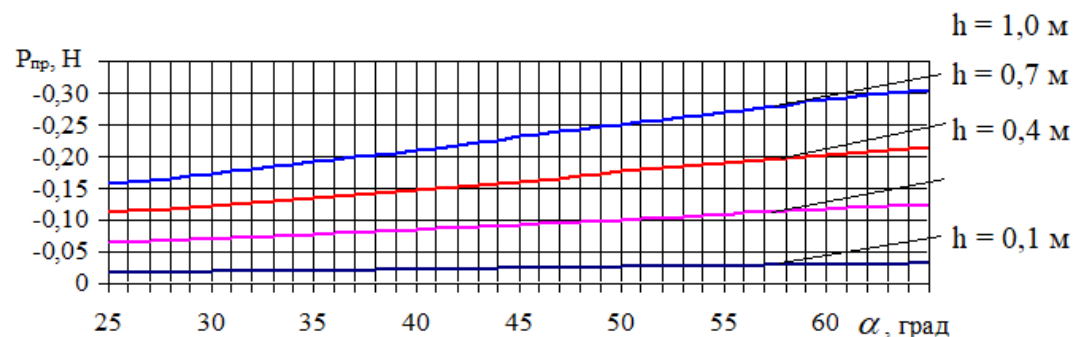
За результатами проведених розрахунків отримано графічні залежності сили присмоктування до комірки від основних конструктивно технологічних параметрів (рис. 2.10).



а)



б)



в)

Рис. 2.10. Дослідження сили присмоктування  $P_{пр}$  насінини до комірки

а) пшениця «Подольянка»; б) жито «Сиріус»; в) ячмінь «Вакула»

Згідно отриманих графічних залежностей збільшення кута  $\alpha$  конусного барабана до його нижньої основи призводить до отримання сили присмокування  $P_{np}$  з від'ємним значенням. Що пов'язано з впливом на заповнення комірок в межах забірної камери тиску зернового шару, який залежить від висоти  $h$  шару насіння в бункері (рис. 2.10). За таких умов відцентрова сила  $P_j$  практично не впливає на притиснення насінини до комірки за малого значення радіуса  $R$  (рис. 2.10).

Однак в зоні перекриття барабана відсічною планкою насінневловлювача тиск зернового шару на насінину не діятиме і утримання насінини в комірці відбуватиметься завдяки силі присмокування. Тому подальша задача теоретичних досліджень полягає в визначенні сили присмокування насінини в цій зоні. Для цього розглянемо систему сил, що діятимуть на насінину в цій зоні (рис. 2.11).

За таких умов у вертикальній площині на насінину діє сила ваги  $G$ , а в горизонтальній – відцентрова сила інерції  $P_j$ . Завдяки відцентровій силі  $P_j$  насінина притискається до комірки, а сила ваги  $G$  прагне її виштовхнути з комірки. Тому щоб втримання насінину в комірці по вісі наскрізного каналу необхідно прикласти силу присмокування  $P_{np}$  за рахунок розрідження в пневматичній системі сівалки. Внаслідок дії сил  $P_{вц}$  та  $G$  з боку поверхні комірки в точці  $A$  контакту її з насіниною виникає нормальна сила  $N$ , яка викликає силу тертя  $F_m$ . Оскільки форма поперечного перерізу комірки наближена до прямокутника, то насінина може контактувати з коміркою в точці  $A$  (рис. 2.11а), або в точці  $B$  (рис. 2.11б).

Розглянемо випадок, контакту насінини в точці  $A$  комірки (рис. 2.11а). Рівняння рівноваги для даного випадку матиме вигляд:

$$\sum M_A = 0, \quad (2.34)$$

$$-P_{np} \cdot r + G \cdot r \cdot \cos \alpha - P_j \cdot r \cdot \sin \alpha = 0, \quad (2.35)$$

де  $r$  – радіус насінини, м;

$\alpha$  – кут нахилу конусного висівного барабана до його нижньої основи, град.

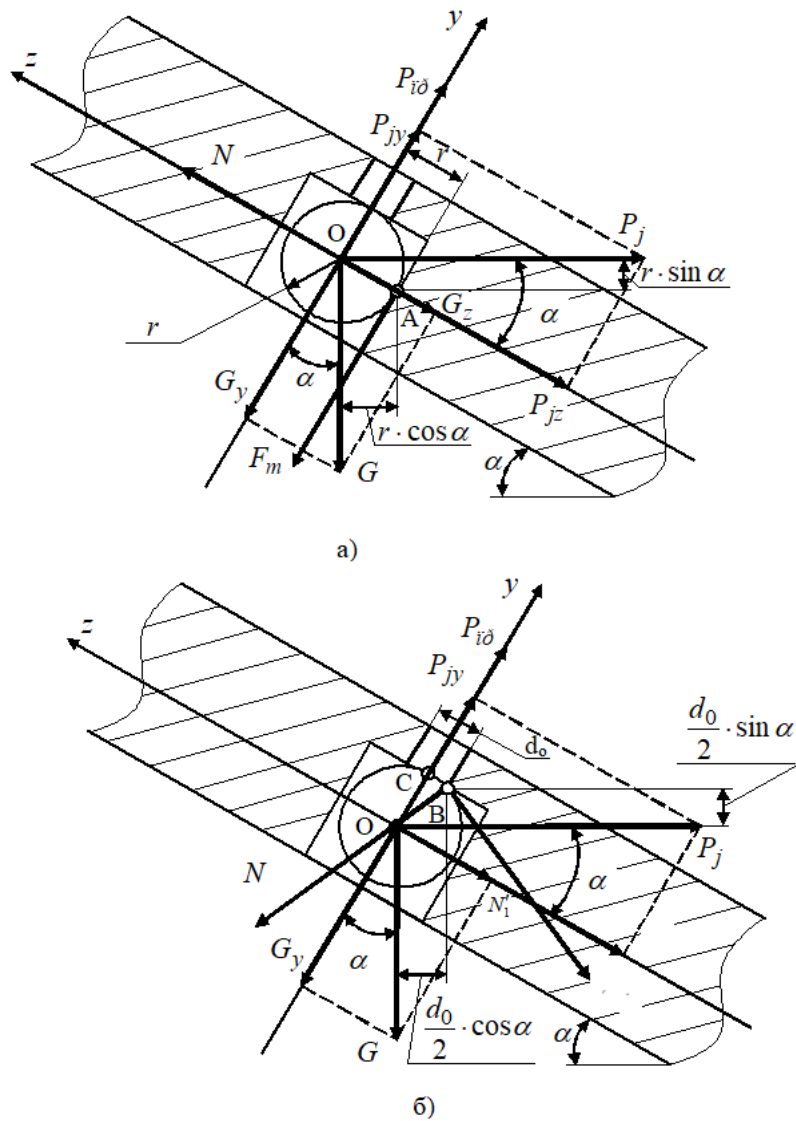


Рисунок 2.11 – Розрахункова схема дії сил на насінину, що знаходиться в комірчині висівного елемента

Згідно рівняння 3.35 значення сили присмокування насінини до комірчини барабана визначимо за формулою

$$P_{np} = G \cdot \cos \alpha - P_j \cdot \sin \alpha., \quad (3.36)$$

Врахувавши виразу 2.28 та значення сили тяжіння отримаємо:

$$P_{np} = m \cdot (g \cdot \cos \alpha - \omega^2 \cdot R \cdot \sin \alpha). \quad (2.37)$$

Розглянемо випадок контакту насінина з коміркою в точці  $B$  (рис. 2.11б) рівняння рівноваги сил отримає вигляд:

$$\sum M_B = 0; \quad (2.38)$$

$$-P_{np} \cdot \frac{d_o}{2} + G \cdot \frac{d_o}{2} \cdot \cos \alpha - P_j \cdot \frac{d_o}{2} \cdot \sin \alpha + P_j \cdot \sqrt{r^2 - \frac{d_o^2}{4}} \cdot \cos \alpha + G \cdot \sqrt{r^2 - \frac{d_o^2}{4}} \cdot \sin \alpha = 0, \quad (2.39)$$

де  $d_o$  – діаметр вакуумного каналу в комірці,  $d_o = 2$  мм.

Тоді отримаємо:

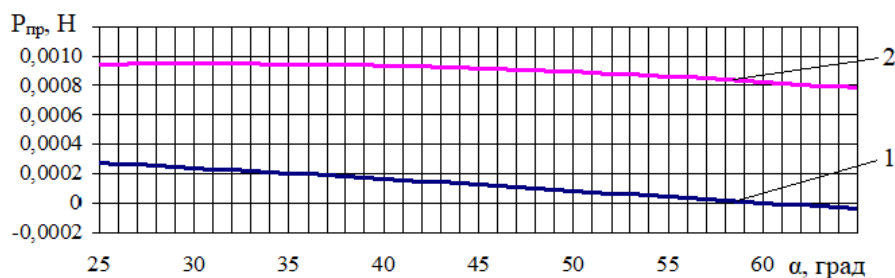
$$P_{np} = G \cdot \left( \cos \alpha + \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot r^2}{d_o^2} - 1} \right) + P_j \cdot \left( \cos \alpha \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot r^2}{d_o^2} - 1} - \sin \alpha \right), \quad (2.38)$$

Підставимо в рівняння 2.38 значення сили тяжіння та відцентрової сили:

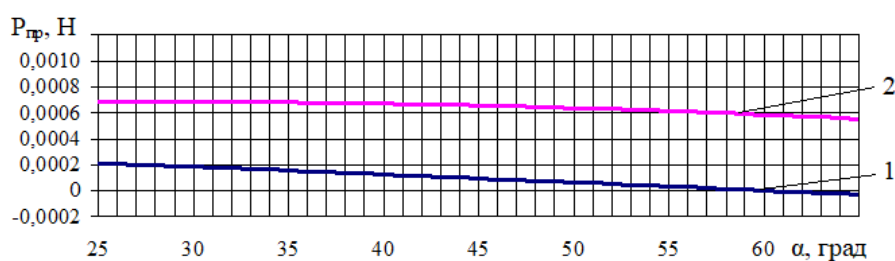
$$P_{np} = m \cdot \left\{ g \cdot \left( \cos \alpha + \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot r^2}{d_o^2} - 1} \right) + \omega^2 \cdot R \cdot \left( \cos \alpha \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot r^2}{d_o^2} - 1} - \sin \alpha \right) \right\}. \quad (2.39)$$

За результатами проведених розрахунків за формулами (2.37) і (2.39) отримано графічні залежності (рис. 2.12), за якими встановлено, що в положенні (рис. 2.11, б) необхідно прикласти більшу силу присмокування  $P_{np}$  ніж для варіанту розташування наведеному на рис. 2.11а. Врахувавши

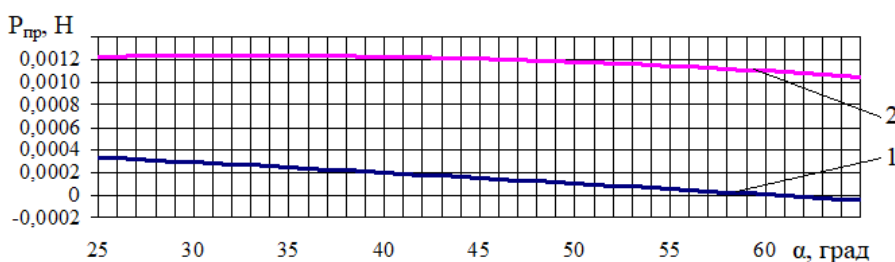
отримані дані подальші розрахунки сили присмоктування будемо виконувати за рівнянням 2.39.



а)



б)



в)

Рисунок 2.12 – Дослідження сили присмоктування насінини відносно комірки барабана: 1 – сила присмоктування при положенні А (рис. 2.11, а); 2 – сила присмоктування насіння при положенні В (рис. 2.11, б); а – пшениця «Подольанка»; б) жито «Сиріус»; в) ячмінь «Вакула»

На основі аналізу графіків (рис. 2.12) можна зробити висновок, що для даного апарата з раціональним кутом  $\alpha$  нахилу конуса барабана до його нижньої основи, що становить  $30^\circ$ , і максимальному значенні радіуса  $R$  розміщення комірчин рівним  $0,155$  м, сила присмоктування  $P_{пр}$  насінини до комірки при кутовій швидкості  $\omega$  обертання висівного елемента повинна

становити не менше:

- за кутової швидкості  $\omega = 3,5$  рад/с для ячменю – 0,00099 Н, для пшениці – 0,00078 Н і для жита – 0,00056 Н
- за кутової швидкості  $\omega = 4,5$  рад/с для ячменю – 0,00106 Н, для пшениці – 0,00082 Н, для жита – 0,00060 Н,
- за кутової швидкості  $\omega = 5,5$  рад/с для ячменю – 0,00114 Н, для пшениці – 0,00088 Н, для жита – 0,00064 Н,
- за кутової швидкості  $\omega = 6,5$  рад/с для ячменю – 0,00124 Н, для пшениці – 0,00095 Н, для жита – 0,00069 Н,

## 2.5 Висновки

1. За результатами проведеного аналізу встановлено, що для реалізації точного координатного висіву насіння зернових колосових культур найбільш ефективним буде використання пневматичних апаратів вакуумної дії з внутрішнім заповненням. Розроблена конструкція пневматичної сівалки дозволить реалізувати координатний висів колосових в задані координати на ділянці поля за швидкості в межах 7-9 км/год з нормою висіву до 10...15 шт. на погонний метр за коефіцієнта варіації розподілу насіння в рядку від 3 до 10 %.

2. За результатами проведених досліджень процесу заповнення комірок встановлено основні геометричні та експлуатаційно-технологічні показники пневматичної сівалки. Кутова швидкість висівного барабану в межах 3,5...6,5 рад/с. Радіус внутрішньої конічної поверхні барабана коливається в межах від 0,065 до 0,25 м, при цьому час заряджання варіюється в діапазоні 0,09..0,016 с.

3. Теоретичними дослідженнями пневматичної сівалки з конічним висівним апаратом барабанного типу встановлено раціональні значення конструктивно-технологічних показників, а саме:  $\alpha = 30^\circ \dots 40^\circ$ ,  $R = 0,055 \dots 0,155$  м,  $h = 0,1 \dots 1$  м,  $\omega = 3 \dots 6$  с<sup>-1</sup>. Значення присмоктуючої сили для надійного утримання в комірці насіння ячменю, пшениці та жита відповідно повинно становити 0,00035 Н/м<sup>2</sup>, 0,00026 Н/м<sup>2</sup> та 0,00018 Н/м<sup>2</sup>.



## **3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **3.1 Програма досліджень**

Наведені теоретичні дослідження сівалки для координатного висіву потребують перевірки в експериментальних умовах згідно попередньо розробленої програми досліджень з використанням загальноприйнятих методик [25, 26].

*Програма досліджень* складає наступні етапи:

1. Розробити експериментальний зразок висівного апарату барабанного типу пневматичної сівалки.

2. Виконати розробку методу та виконати лабораторні дослідження експериментального зразка висівного апарату барабанного типу для встановлення бажаних значень конструктивно-технологічних показників апарату для реалізації точного висіву насіння.

3. Виконати розробку методики та проведення польових дослідження запропонованої конструкції пневматичної сівалки точного висіву з висівним апаратом барабанного типу.

### **3.2 Розробка експериментального зразка висівного апарату барабанного типу**

В результаті проведених теоретичних досліджень встановлено граничні значення конструктивних параметрів висівного апарату барабанного типу пневматичної сівалки. Врахувавши отримані результати розроблено схему та експериментальний зразок висівного апарату (рис. 3.1 та 3.2)

Основні елементи висівного апарату встановлено відносно основи 4, на якій розміщено барабанний конічний висівний апарат 5, бункер для насіння 8 з якого зерно самопливом надходить до внутрішньої порожнини висівного апарату. Використовуючи електродвигун 9 за допомогою пасової передачі 10

організовано привід конічного барабану. За рахунок пневматичної системи 11 рукава 1 формується розрідження в вакуумній камері 18. Величина вакууму задається заслінкою 2 і контролюється за допомогою вакуумметра 3. Насіння за рахунок вакууму надійно фіксується до внутрішніх комірок барабану 5 та транспортується до скидача 7 де вакуум відсікається а насіння під дією гравітації падає до насіннеуловлювачів 6.

Імітацію нескінченного поля організовано за допомогою стрічкового транспортера 13 з електроприводом 14 та 15. Змащена поверхня транспортера медовим розчином надійно утримує насіння, що на неї потрапило. Даний розчин досить легко можна змити та відновити новий шар для наступних досліджень.

Використання електродвигунів постійного струму дозволяє спростити схему регулювання частоти обертання приводів в межах  $10 \text{--} 80 \text{ с}^{-1}$ . Напруга живлення експериментальної установки 12 В.

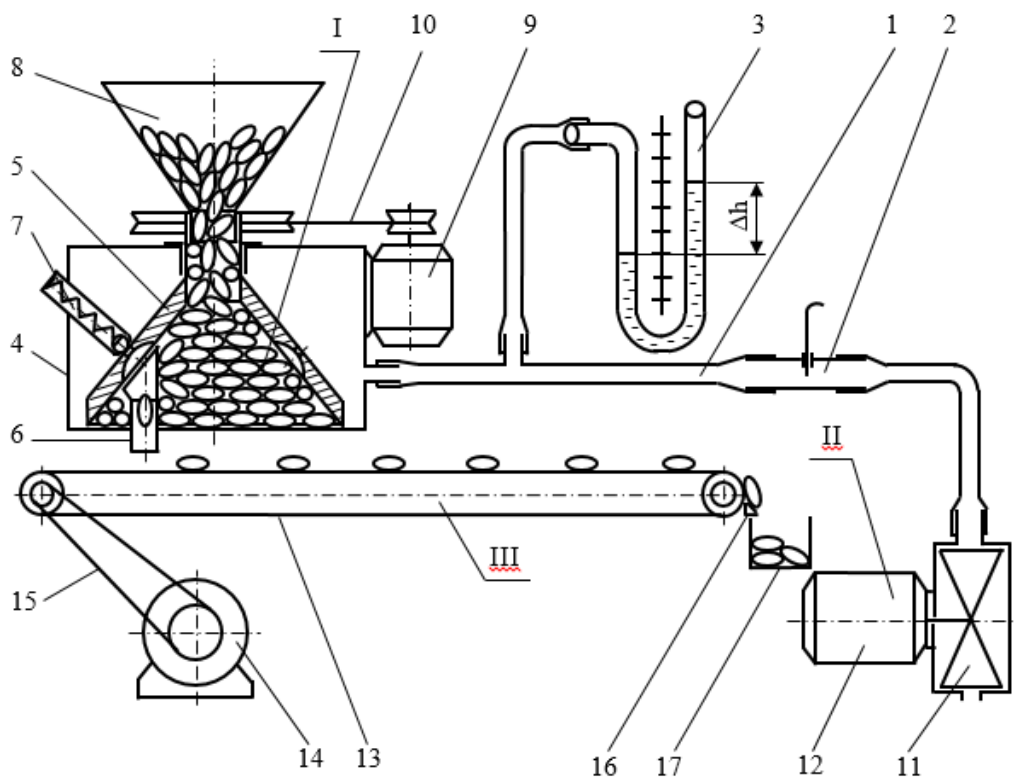


Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки висівного апарату барабанного типу пневматичної сівалки



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд експериментальної установки висівного апарата барабанного типу пневматичної сівалки

Використавши розроблену установку проведемо дослідження основних конструктивно-технологічних параметрів, що впливають на якісні показники роботи пневматичної сівалки, а саме величина вакууму  $H$ , кут  $\alpha$  нахилу конуса барабана, довжина дуги  $L$ , рівень заповнення бункера  $h$ , кутова швидкість барабана  $\omega$  та ін.

### **3.3 Експериментальні дослідження висівного апарату в лабораторних умовах**

Якість висіву перевіряли за коефіцієнтом розподілення насіння в рядку при посіві таких культур як ячмінь «Вакула», пшениця «Подолька» та жито «Сиріус». Висів здійснювався по 100 насінин. Визначення інтервалів виконували з використанням штангенциркуля. Крім інтервалів розподілення насіння також визначаємо масу тисячі насінин. Дослідження виконуємо з трикратною повторністю та визначенням середнього значення з врахуванням положень ДСТУ EN ISO 4254-1:2015: «Сільськогосподарські машини» [27].

В таблиці 3.1 та рисунку 3.3 наведено результати дослідження показників насіння пшениці, ячменю та жита.

Таблиця 3.1 – Результати дослідження насіння

N п/п	Культура	Маса 1тис. насінин, г	Вологість насіння, %
	Ячмінь «Вакула»	39	12,5
	Пшениця «Подолька»	33	13,4
	Жито «Сиріус»	24	15,2

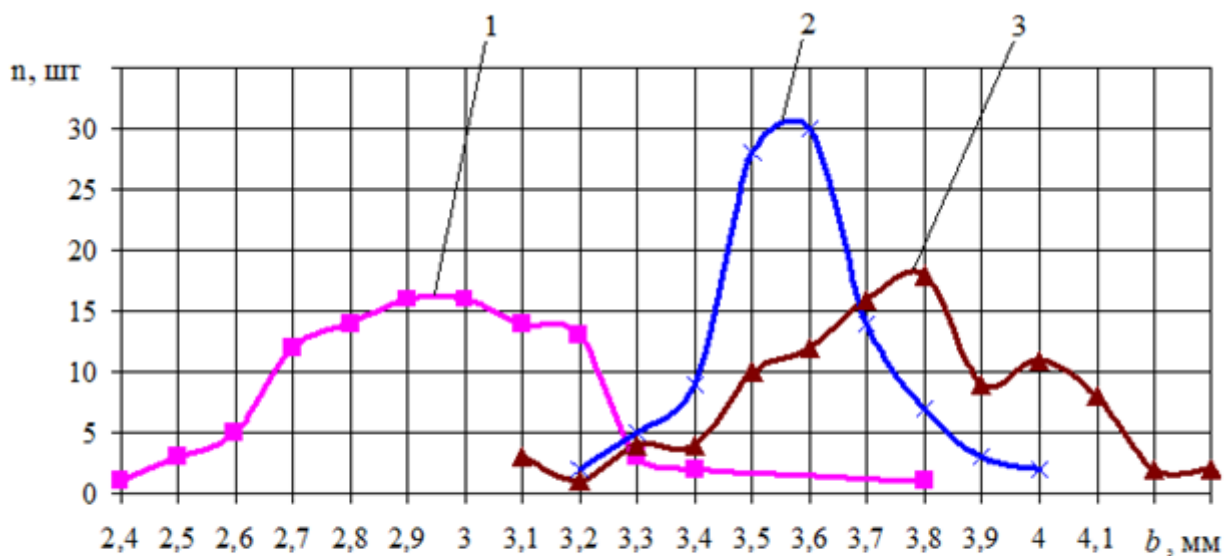


Рисунок 3.3 – Розподіл зернових колосових культур за шириною насіння:  
1 – жито ; 2 – пшениця ; 3 – ячмінь

Вплив висоти шару насіння в бункері на якість утримання насіння в комірчинах барабана визначали за висоти  $h$ : 5, 7,5, 10, 40, 70 см. Значення кутової швидкості барабану  $\omega$  змінювали в межах 3, 4, 5  $\text{с}^{-1}$ .

Процес висіву розпочинали при стабілізації швидкості руху нескінченного

поля. Завдяки змінним барабанам кут конуса можна змінювати від 30 до 50° з кроком в 10° (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Конусні висівні барабани

Результати дослідження впливу заповнення бункера насінням на коефіцієнт рівномірності висіву наведено на рисунку 3.5.

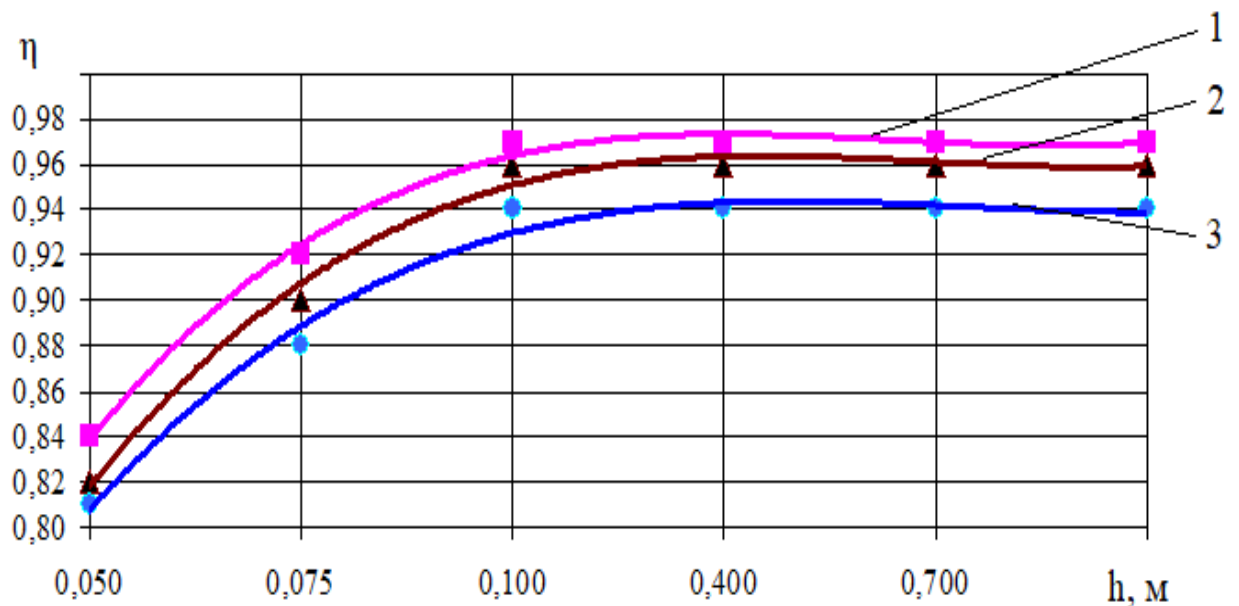


Рисунок 3.5 – Дослідження впливу заповнення бункера на коефіцієнт рівномірності висіву: 1 – ячмінь Вакула; 2 – жито Сиріус; 3 – пшениця Подільська

Визначення впливу експлуатаційно-технологічних показників барабанного висівного апарату пневматичної сівалки на якість посіву виконаємо за повнофакторним експериментом  $2^3$ .

В якості основних факторів обрано кут конуса барабану  $\alpha$ , величина вакууму  $H$ , кутова швидкість висівного барабану  $\omega$ , радіус розташування комірок  $R$ , висота шару зерна в бункері  $h$ .

В таблиці 3.2 наведено рівні варіювання основних факторів межі яких встановлено в результаті експериментальних та теоретичних досліджень [28]. Дослідження виконуємо згідно план-матриці для обраного плану наведеної в таблиці 3.3

Таблиця 3.2 – Значення рівні основних факторів

Фактор	Натуральний показник	Закодоване значення	Інтервал варіації	Рівні варіювання					
				Реальне значення			Кодовані значення		
				нижнє	нульове	верхнє	нижнє	нульове	верхнє
Кут конуса висівного барабана, град	$\alpha$	$x_1$	10	30	40	50	-1	0	+1
Кутова швидкість барабана, рад/с	$\omega$	$x_2$	1	3	4	5	-1	0	+1
Розташування комірок на висівному барабанові, м	$R$	$x_3$	0,02	0,075	0,095	0,115	-1	0	+1

Дослідження виконували з використанням експериментального зразка висівного апарату (рис. 3.2). Висота падіння насіння задавалася з урахуванням реального розташування виходу з насіннепроводу до насінневого ложе. Липкий розчин нескінченного поля забезпечував надійну фіксацію висіяного насіння.

Обробку результатів виконували за загальноприйнятими методиками виконання статистичного аналізу.

Таблиця 3.3 – Матриця багатофакторного експерименту за планом  $2^3$ 

№ досліджу	Кодовані фактори			Кореляція факторів			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	-1	0	-1	0	+1	0	0
3	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
4	-1	-1	0	+1	0	0	0
5	-1	0	0	0	0	0	0
6	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
7	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
8	-1	+1	0	-1	0	0	0
9	-1	0	+1	0	-1	0	0
10	0	-1	-1	0	0	+1	0
11	0	0	-1	0	0	0	0
12	0	-1	+1	0	0	-1	0
13	0	-1	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	+1	0	0	0	0	0
16	0	+1	-1	0	0	-1	0
17	0	0	+1	0	0	0	0
18	0	+1	+1	0	0	+1	0
19	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
20	+1	-1	0	-1	0	0	0
21	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
22	+1	0	-1	0	-1	0	0
23	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
24	+1	0	+1	0	+1	0	0
25	+1	0	0	0	0	0	0
26	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
27	+1	+1	0	+1	0	0	0

В результаті проведених досліджень виконано оцінку коефіцієнтів рівняння математичної моделі за критерієм Стюдента та отримано остаточний вигляд рівняння регресії інтервалів розподілення насіння в рядку в закодованому вигляді.

$$y = 62,9111 + 0,4333 \cdot x_1 + 0,2222 \cdot x_2 + 0,3444 \cdot x_3. \quad (3.1)$$

в розкодованому вигляді рівняння отримає вигляд:

$$y = 59,6 + 0,0433 \cdot \alpha + 0,2222 \cdot \omega + 3,444 \cdot R. \quad (3.2)$$

За критерієм Фішера підтверджено адекватність математичної моделі виконали за критерієм Фішера.

За отриманими результатами багатofакторного експерименту отримано поверхні відгуків згідно прийнятих факторів та критерію оптимізації (рис. 3.6).

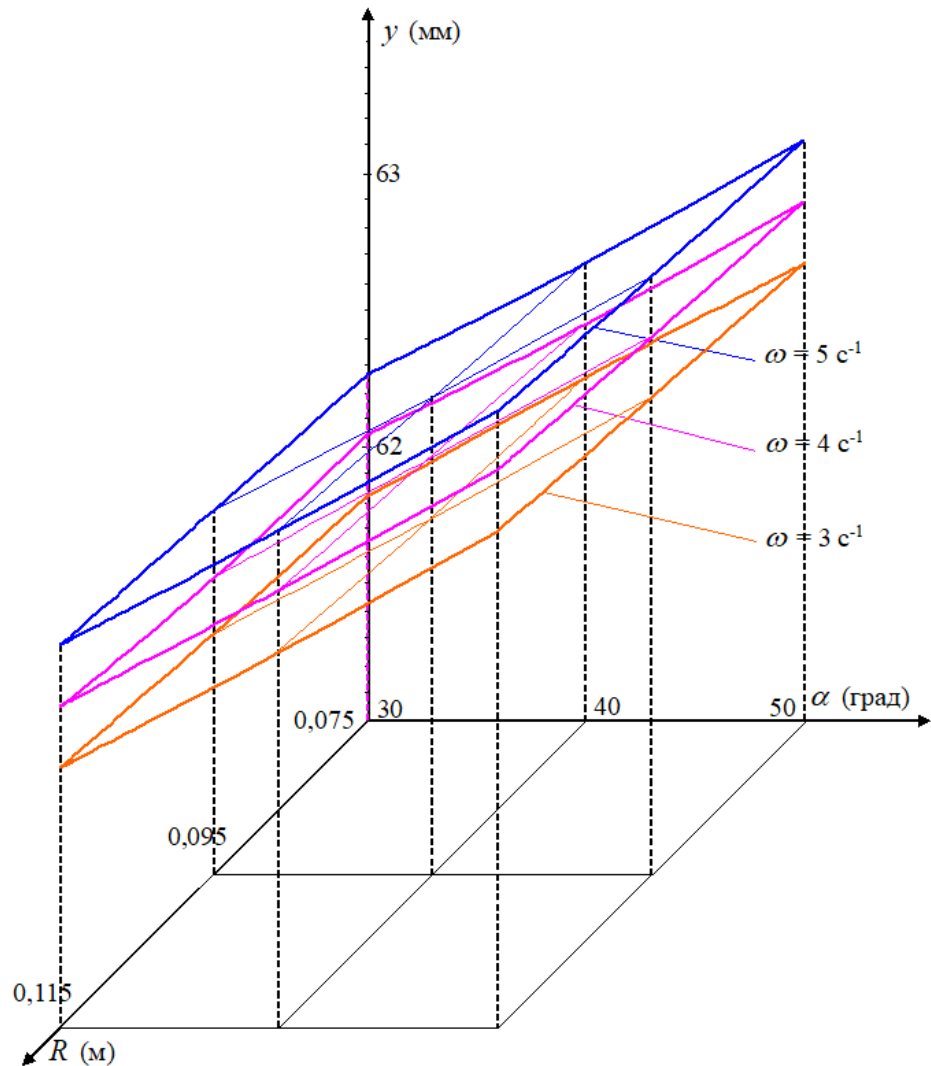


Рисунок 3.6 – Поверхні відгуків



В результаті виконаного аналізу отриманих поверхонь вирішено компромісну задачу згідно якої отримано бажані значення факторів за максимального коефіцієнта рівномірності висіву ( $\eta \rightarrow \max$ ) табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Бажані значення факторів

Культура	Кут конуса висівного барабана, град $\alpha$ (град)	Кутова швидкість барабана, $\omega$ , рад/с	Розташування комірок на висівному барабанові, $R$ , м	Інтервал між насінням, $y$ (мм)	Значення коефіцієнту рівномірності висіву $\eta$ (%)
Ячмінь	33	3	0,075	60,2	88,1
Жито	35	3,5	0,095	62,3	84,1
Пшениця	32	3	0,08	61,82	85,33

### 3.4 Експериментальні дослідження пневматичної сівалки в польових умовах

Експериментальний зразок висівного апарату барабанного типу для проведення польових досліджень встановлено на базову зернову сівалку СЗ – 3,6А (рис. 3.7). Замість серійного апарату однієї з двох секцій сівалки підєднано до сошників насіннепроводи запропонованого висівного апарату. Виконавши незначне удосконалення базового ланцюгового приводу отримано пасову передачу для обертання барабана висівного апарату. Живлення вентилятора пневматичної системи апарату організовано від бортової мережі трактора.

Дослідження виконувалися в умовах господарства ТОВ «Зоря» на посіві пшениці «Подoliaночка», площа посіву становила 10 га. Паралельно з висівом експериментальної секції здійснювався посів базовим висівним апаратом на

швидкості 7,5 км/год. Схожість посівного матеріалу становила 96 % за таких показників норма висіву становила 200 кг/га. Якість посіву оцінювали за коефіцієнтом рівномірності розподілення насіння в рядку по сходам.



Рисунок 3.7 – Експериментальні дослідження висівного апарату барабанного типу в польових умовах

Підрахунок виконувався на п'яти окремих ділянках поля довжиною 100 м кожна. За результатами проведених досліджень отримано коефіцієнт рівномірності розподілення насіння в рядку для експериментального зразка  $\eta=0,85$  і для базового  $\eta=0,77$ , що підтвердило ефективність запропонованого конструктивного рішення.

### 3.5 Висновки

1. Врахувавши теоретичні дослідження розроблено експериментальний зразок висівного апарату барабанного типу для посіву зернових культур.
2. Лабораторними дослідженнями підтверджено межі значень основних параметрів висівного апарату отримані аналітичним шляхом та вставлено їх бажані значення для отримання максимального значення точності розподілення насіння в рядку.
3. Польовими дослідженнями підтверджено працездатність та ефективність роботи запропонованого висівного апарату барабанного типу пневматичної сівалки.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Організація охорони праці

Охорона праці в сільськогосподарській галузі є важливою складовою забезпечення безпечних умов для роботи персоналу, зайнятого в рослинництві та тваринництві. Ця система включає заходи, спрямовані на створення комфортних умов праці, зниження травматизму та попередження професійних захворювань.

#### *Основні принципи організації охорони праці*

Дотримання вимог чинного законодавства та нормативних документів щодо охорони праці.

Гарантування безпечних умов для всіх працівників.

Проведення інструктажів, навчань та перевірок знань правил безпеки.

Регулярний контроль за станом робочих місць та обладнання.

Для зменшення ризиків травмування та запобігання нещасним випадкам у господарстві впроваджена система охорони праці, яка охоплює комплекс профілактичних заходів. Організація охорони праці покладається на керівників підрозділів: головний агроном відповідає за ділянки рослинництва, а головний інженер — за машинно-тракторний двір. Загальний контроль здійснює інженер з охорони праці, який також розробляє інструкції з безпеки.

#### *Інструктажі з охорони праці*

Первинний інструктаж проводиться на робочому місці перед початком виконання завдань.

Вступний інструктаж організовується для нових співробітників, охоплюючи загальні правила безпеки.

Позаплановий інструктаж проводять у разі змін технологічних процесів, впровадження нового обладнання або у випадку надзвичайних ситуацій.

Повторний інструктаж проводиться щонайменше раз на пів року.

Система інструктажів дозволяє працівникам ознайомитися з правилами роботи з технікою, у приміщеннях, а також із методами надання першої допомоги у випадку надзвичайних ситуацій.

#### *Умови праці*

На виробничих ділянках розміщено інформаційні стенди з охорони праці та пожежної безпеки. Приміщення оснащені санітарними кімнатами (душові, туалети, умивальники, кімнати для переодягання) з доступом до гарячої та холодної води. Усі санітарні приміщення забезпечені засобами гігієни: милом, шампунем, рушниками або сушарками для рук.

Кожна виробнича зона обладнана аптечками першої допомоги та засобами пожежогасіння, включаючи вогнегасники, лопати, відра тощо. Медичний пункт господарства забезпечує первинну медичну допомогу, а також організовує щорічні медичні огляди для виявлення професійних захворювань. Додатково проводяться інформаційні кампанії з вакцинації працівників.

#### *Значення охорони праці*

Комплексний підхід до організації охорони праці сприяє збереженню здоров'я співробітників, підвищенню продуктивності праці та відповідності вимогам законодавства. Така організація роботи знижує фінансові ризики та сприяє ефективності діяльності господарства.

## **4.2 Аналіз виробничого травматизму**

Сільське господарство є однією з найбільш травмонезбезпечних галузей економіки через специфіку виконуваних робіт, особливості використання техніки, а також вплив природних умов. Аналіз виробничого травматизму є важливим етапом у розробці заходів з охорони праці, спрямованих на зниження рівня травматизму та забезпечення безпечних умов роботи.

## ***Основні причини виробничого травматизму в сільському господарстві***

### ***Технічні фактори:***

- використання застарілого або несправного обладнання.
- відсутність захисних пристроїв на сільськогосподарській техніці.

### ***Організаційні фактори:***

- недостатній рівень підготовки працівників до виконання робіт;
- порушення правил техніки безпеки під час роботи;
- недостатній контроль за виконанням робіт з боку керівників;

### ***Фізіологічні та психофізичні причини:***

- високий рівень фізичного навантаження.
- втома працівників через тривалий робочий день.
- недостатня увага під час виконання складних або небезпечних операцій.

### ***Природні фактори:***

- вплив несприятливих погодних умов (спека, дощ, низькі температури).
- погане освітлення робочих зон у темний час доби.
- 

## ***Характеристика виробничих травм***

Травми в сільському господарстві можна умовно розділити на такі види:

***Механічні травми:*** порізи, переломи, забої, отримані під час роботи з технікою або інструментами.

***Термічні травми:*** опіки та обмороження, пов'язані з впливом високих чи низьких температур.

***Хімічні травми:*** інтоксикації або опіки від контакту з пестицидами, добривами чи іншими хімічними речовинами.

***Біологічні травми:*** укуси тварин, комах або інфекційні захворювання, пов'язані з контактом із тваринництвом.

## ***Методи аналізу виробничого травматизму***

Аналіз травматизму здійснюється на основі:

- даних про кількість і характер нещасних випадків.
- причин виникнення травм.
- економічних витрат, пов'язаних із травмуванням працівників (лікування, втрати через непрацездатність, штрафи тощо).

### ***Основні показники, які використовуються при аналізі:***

*Коефіцієнт частоти травматизму (Кч):* кількість травмованих на 1000 працівників.

*Коефіцієнт тяжкості травматизму (Кт):* середня кількість днів непрацездатності на один нещасний випадок.

*Коефіцієнт непрацездатності (Кн):* загальна кількість непрацездатних днів на 1000 працівників.

Значення коефіцієнта частоти травматизму працівників господарства визначимо за формулою:

$$K_{\text{ч}} = \frac{T \cdot 1000}{n_p}, \quad (4.1)$$

де:  $n_p$  – кількість працівників господарства, осіб.;

$T$  – втрата працездатності працівниками, осіб.

Непрацездатність працівників визначимо за коефіцієнтом:

$$K_{\text{н}} = \frac{D_{\text{н}} \cdot 1000}{n_p}, \quad (4.2)$$

де:  $D_{\text{н}}$  – кількість непрацездатних днів.

Ступінь тяжкості травматизму:

$$K_{\text{т}} = \frac{D_{\text{н}}}{n_2}, \quad (4.3)$$

де:  $n_2$  – кількість осіб що потерпіли та втратили працездатність, чол.

Динаміка травматизму в господарстві за останні три роки та основні показники наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Динаміка травматизму в господарстві

Показники травматизму	Роки		
	2021	2022	2023
Кількість працівників господарства, осіб	18	24	32
Кількість потерпілих та осіб, що втратили працездатність	5	4	3
Кількість непрацездатних днів, дн.	82	63	41
Коефіцієнти:			
- частоти травматизму	278	167	94
- тяжкості травматизму	16,40	15,75	13,67
- непрацездатності	4555,6	2625,0	1281,3

За останні роки спостерігається зменшення загальної кількості травм завдяки впровадженню сучасних методів організації праці, автоматизації процесів та підвищенню рівня охорони праці.

Проте, частота травм залишається високою через:

- використання старої техніки.
- недостатнє фінансування заходів з охорони праці.

Рекомендації щодо зменшення травматизму

*Технічні заходи:*

- модернізація обладнання та впровадження сучасних технологій.
- регулярне обслуговування техніки.

#### *Організаційні заходи:*

- проведення навчань і інструктажів для працівників.
- посилення контролю за дотриманням правил техніки безпеки.
- забезпечення засобами індивідуального захисту:
- використання спецодягу, рукавичок, захисних окулярів тощо.
- покращення умов праці:
- організація місць для відпочинку та дотримання норм тривалості робочого дня.
- забезпечення працівників доступом до засобів гігієни.

### **4.3 Особливості охорони праці на виконанні посіву сільськогосподарських культур**

Експлуатація машино-тракторного агрегату під час посівних робіт потребує суворого дотримання правил охорони праці. Враховуючи специфіку виконуваних операцій, пов'язаних з використанням потужної техніки та посівних машин, основні вимоги спрямовані на забезпечення безпеки працівників, зменшення травматизму та попередження аварійних ситуацій.

#### **1. Підготовка до роботи**

- Перед початком роботи необхідно провести технічний огляд трактора і посівного обладнання, щоб переконатися у їх справності.
- Перевірити наявність і справність систем безпеки, таких як світлова сигналізація, дзеркала огляду, гальмівні системи та блокувальні пристрої.
- Провести інструктаж для оператора машино-тракторного агрегату та інших працівників, які братимуть участь у роботі.
- Забезпечити працівників засобами індивідуального захисту (спецодяг, рукавички, захисні окуляри).



## 2. Організація робочого місця

- Робоче місце оператора має бути обладнане відповідно до ергономічних вимог: сидіння повинно бути налаштоване для зручності управління.

- У зоні виконання посівних робіт не повинні знаходитися сторонні особи чи несанкціонований транспорт.

- Забороняється працювати в умовах поганої видимості (туман, дощ, темний час доби) без належного освітлення.

## 3. Вимоги під час роботи

- Тракторист-оператор повинен дотримуватися оптимальної швидкості руху агрегату, яка відповідає умовам поля і специфікації посівного обладнання.

- Забороняється залишати працюючий агрегат без нагляду, а також виконувати технічне обслуговування чи регулювання, не вимкнувши двигун.

- Під час заповнення сівалок насінням або добривами агрегат має бути повністю зупинений, двигун вимкнений, а робочі органи — заблоковані.

- Заборонено проводити очищення, змащення або налаштування рухомих частин обладнання під час роботи.

## 4. Техніка безпеки при заправці та обслуговуванні

- Під час заправки паливом трактор повинен бути зупинений, а двигун — вимкнений.

- Паливо, мастильні матеріали та хімічні засоби для обробки насіння повинні зберігатися в спеціально відведених місцях, обладнаних засобами пожежогасіння.

- При проведенні технічного обслуговування (змащення, заміна деталей) необхідно використовувати спеціальні інструменти, а робоче місце має бути добре освітлене.

## 5. Пожежна безпека

- Агрегат повинен бути оснащений справним вогнегасником, розташованим у легкодоступному місці.
- Паливно-мастильні матеріали необхідно зберігати на відстані від джерел відкритого вогню та в місцях, недоступних для сторонніх осіб.
- Забороняється палити або використовувати відкритий вогонь поблизу трактора чи посівного обладнання.

## 6. Дії у разі аварійної ситуації

- У разі несправності агрегату оператор зобов'язаний негайно зупинити роботу, вимкнути двигун і повідомити керівництву.
- У разі травмування працівника йому необхідно надати першу медичну допомогу та організувати евакуацію до медичного закладу.
- Якщо виникла пожежа, слід негайно скористатися вогнегасником і повідомити відповідні служби.

## 7. Завершення робіт

- Після завершення посівних робіт агрегат необхідно очистити від залишків насіння та ґрунту.
- Провести огляд техніки, перевірити справність вузлів та агрегатів для запобігання несправностей у майбутньому.
- Забезпечити правильне зберігання посівного обладнання та трактора у відведених місцях.

### **4.4 Заходи по поліпшенню охорони праці та безпеки в НС**

Розглянемо надзвичайну ситуацію на прикладі витоку аміаку з автомобільної цистерни при виконанні перевезень по трасі Дніпро-Решетилівка, що розташовується на відстані 2 км від території господарства. Як діяти в такій ситуації та прогнозування поширення хмари аміаку виконаємо з урахуванням наступних даних:

Об'єм резервуара: 58,9 м<sup>3</sup>.

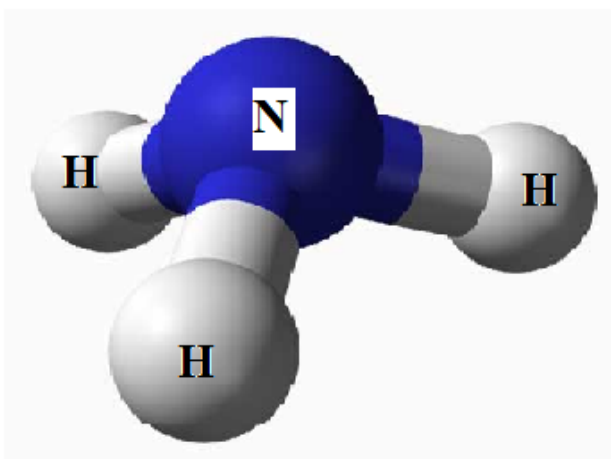
Швидкість вітру: 1,4 м/с.

Температура повітря: 25 °С.

*Фізико-хімічні властивості аміаку:*

Густина аміаку в рідкому стані: 694 кг/м<sup>3</sup>.

Концентрація у повітрі, що вважається небезпечною для життя: 350 мг/м<sup>3</sup>.



Властивості	
Густина	0,6942
Розчинність	89,9 г/100 <u>мл</u> при 20 °С
Тпл	-77,73 °С (195,42 К)
Ткип	-33,34 °С (239,81 К)
Ризики	
Темп. самозаймання	651 °С

Рисунок 4.1 – Особливості аміаку

#### 1. Розрахунок маси аміаку

Маса аміаку в резервуарі визначається за формулою:

$$m = V \cdot \rho \quad (4.4)$$

де:  $V$  – об'єм резервуара, м<sup>3</sup>;

$\rho$  – густина аміаку, кг/м<sup>3</sup>.

$$m = 58,9 \times 694 = 40920 \text{ кг}$$

#### 2. Радіус зараження

Радіус зони зараження визначається за емпіричною формулою для газоподібних речовин при аваріях на відкритій місцевості:

$$R = k(m^{1/3} \cdot v), \text{ м} \quad (4.5)$$

де:  $R$  – радіус зони зараження, м;

$k$  – коефіцієнт, що враховує властивості речовини (для аміаку  $k=5$ );

$m$  – маса газу, кг;

$v$  – швидкість вітру, м/с.

Тоді  $R = 5 \cdot (40920^{1/3} \cdot 1,4) \approx 5 \cdot (34,42 \cdot 1,4) \approx 5 \cdot 48,19 = 240,95 \text{ м}$ .

Отже, радіус зони первинного зараження становить близько 241 м.

### 3. Зона розповсюдження токсичних парів

З урахуванням вітру, зона зараження витягнеться в напрямку вітру. Для розрахунку довжини зони використовують спрощену формулу:

$$L = R \cdot 10, \text{ м} \quad (4.6)$$

де  $L$  – довжина зони зараження, м.

$$L=241 \cdot 10=2410 \text{ м}$$

Отже, зона зараження матиме довжину 2,4 км у напрямку вітру та ширину 482 м (подвійний радіус) (рис. 4.2).

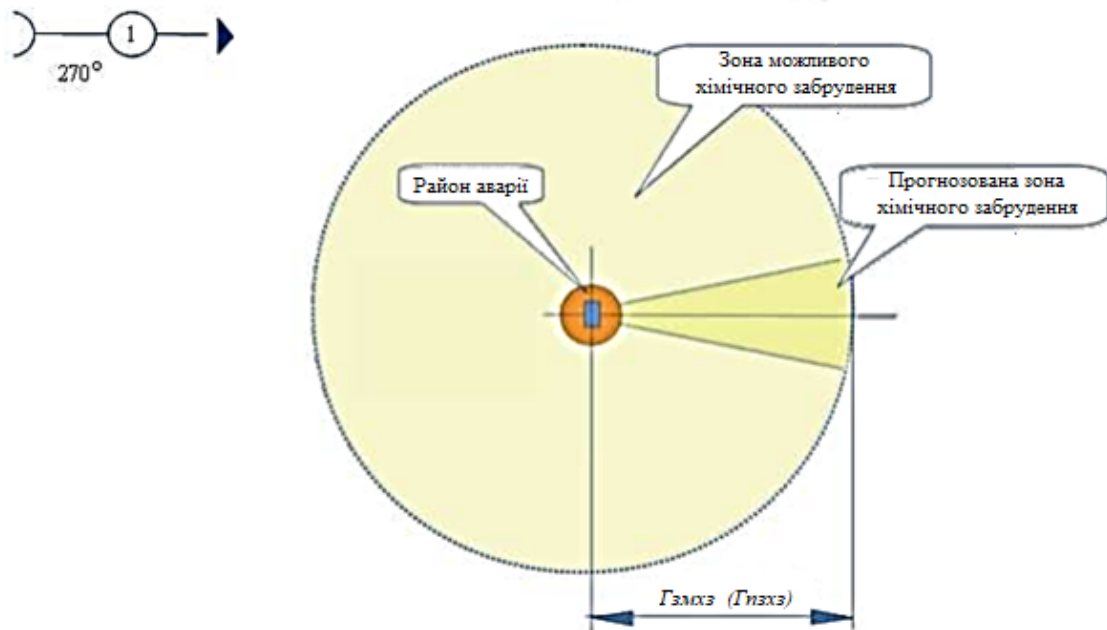


Рисунок 4.2 – Карта забруднення території НХР

Аварія з витоком аміаку становить значну загрозу для життя та здоров'я працівників. Зона зараження за вказаних умов може досягати 2,4 км у довжину що підтверджує потрапляння частини території господарства в зону забруднення. У таких ситуаціях важливі оперативна евакуація, ізоляція зони, ліквідація джерела витoku та надання допомоги постраждалим.

Знизити відсоток постраждалих можливо завдяки використанню засобів індивідуального захисту проти газів (рис. 4.3).



Рисунок 4.3– Засоби захисту при зараженні території Аміаком проти газів ШМП з фільтром K2

## *Дії в разі аварії з витоком аміаку*

### **1. Евакуація працівників:**

- Негайно оповістити працівників про аварію.
- Евакуювати людей у напрямку, перпендикулярному до напрямку вітру, щоб уникнути потрапляння в зону зараження.
- Використовувати засоби індивідуального захисту (протигази типу КД, маски з фільтрами для аміаку).

### **2. Обмеження доступу:**

- Встановити попереджувальні знаки та блокпости на межах зони зараження.
- Заборонити вхід у зону без спеціального обладнання.

### **3. Ліквідація витoku:**

- Ліквідація джерела витoku тільки спеціально підготовленим персоналом.
- Використання водяних завіс для зниження концентрації аміаку в повітрі (аміак добре розчиняється у воді).

### **4. Повідомлення органів:**

- Інформувати місцеві органи влади та служби ДСНС для координації рятувальних заходів.

### **5. Оцінка стану здоров'я:**

- Працівникам, які могли зазнати впливу аміаку, надати першу допомогу:
- Вивести на свіже повітря.
- Промити відкриті ділянки шкіри та слизові водою.
- При ураженні очей — промити водою протягом 10-15 хвилин.

### **6. Моніторинг території:**

- Провести заміри концентрації аміаку у повітрі за допомогою газоаналізаторів.
- Зона вважається безпечною після зниження концентрації до рівня нижче 20 мг/м<sup>3</sup>.

## 4.5 Висновки

1. Аналіз виробничого травматизму дозволяє визначити основні ризики та недоліки в організації праці в сільському господарстві. Комплексний підхід до вирішення цих проблем — модернізація техніки, навчання персоналу, покращення умов праці та посилення контролю — сприятиме зменшенню травматизму та підвищенню ефективності роботи.

2. Аналіз показників демонструє стабільне зниження рівня виробничого травматизму протягом трьох років. Це вказує на ефективність заходів з охорони праці, що реалізуються в господарстві. Для подальшого покращення результатів слід підтримувати позитивну динаміку через інвестиції в техніку, навчання персоналу та підвищення контролю за дотриманням норм безпеки.

3. Дотримання вимог з охорони праці під час експлуатації машино-тракторного агрегату на посівних роботах дозволяє зменшити ризик травматизму, підвищити ефективність виконання робіт та забезпечити безпечні умови праці для всіх учасників процесу. Регулярне навчання персоналу, використання справного обладнання та контроль за дотриманням правил є запорукою безпечної роботи.

4. Для запобігання НС пов'язаних з витоком аміаку необхідно регулярно перевіряти резервуари, проводити навчання персоналу та оснащувати господарство засобами індивідуального захисту.

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

Економічний ефект від запропонованої конструкції пневматичної сівалки точного координатного висіву ПСТВ-3,6 з конічним висівним апаратом барабанного типу виконаємо шляхом порівняння процесу посіву зернових колосових культур з використанням розробленої сівалки проектний варіант та базової сівалки СЗ-3,6 в агрегаті з трактором МТЗ-80 (додаток Б). Такий аналіз дозволяє визначити переваги нового обладнання за основними техніко-економічними параметрами. Для проведення розрахунків економічних показників в таблиці 5.1 наведено вихідні дані.

Таблиця 5.1 – Дані для розрахунку економічної ефективності проекту

Показники	Базовий	Проектний
1	2	3
Склад агрегату	МТЗ-80 + СЗ-3,6	МТЗ-80 + ПСТВ-3,6
Технологічний процес	Посів колосових	Посів колосових
Балансова вартість агрегату, грн	672000	715200
Швидкість руху сівалки, км/год	9	9,5
Ширина захвату сівалки, м	3,6	3,6
Витрата палива на посіві, кг/га	4,9	4,5
Вартість пального, грн/кг	50	50
Річне завантаження агрегату, га	160	160
Тривалість зміни, год	8	8
Кількість працівників, юд	1	1
Ставка погодинної оплати, грн/год	90	90



На початку розрахунку визначимо продуктивність посівного агрегату скориставшись рівнянням [32]:

$$W_{\tau} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau \quad (5.1)$$

де  $B_p$  – ширина сівалки для зернових, м.

$V_p$  – швидкість руху сівалки для зернових, км/год.

$\tau$  – коефіцієнт ефективності використання робочого часу 0,84

Річне завантаження посівного агрегату на виконанні посіву колосових зернових культур, год:

$$t_p = \frac{W_p}{W_{\tau}}, \text{ год}, \quad (5.2)$$

де  $W_p$  – завантаження сівалки протягом року, га/рік.

Використавши загальноприйняту методику визначимо значення експлуатаційних витрат на виконання технологічного процесу посіву колосових зернових культур для встановлення економічного ефекту за рахунок їх скорочення [32].

$$B_{\text{екс}} = B_{\text{оп}} + A + T + B_{\text{рес}} + IB, \text{ грн/га} \quad (5.3)$$

де:  $B_{\text{екс}}$  - витрати на експлуатацію посівного агрегату, грн/га

$B_{\text{оп}}$  – витрати на оплату праці працівникам що обслуговують посівний агрегат грн/га;

$A$  - амортизаційні відрахування на трактор МТЗ-80 та сівалку, грн/га;

$B_{\text{рес}}$  – витрати на пальне для виконання технологічного процесу посіву колосових зернових культур, грн/га;

$T$  – витрати на ремонти та обслуговування посівного агрегату, грн/га.

$IB$  – значення інших витрат на посіви зернових колосових культур, грн/га;

Розрахуємо значення витрат на оплату праці працівникам за рівнянням:

$$B_{on} = Z + H_3, \text{ грн/га} \quad (5.4)$$

де:  $Z$  – фонд заробітної оплати праці задіяних робітників, грн/га.;

$H_3$  – відрахування в фонд оплати праці задіяних робітників, грн/га.

Значення відрахувань для фонду оплати праці працівників, що обслуговують посівний агрегат 22%:

$$H_3 = 0,22 \cdot Z. \quad (5.5)$$

Фонд оплати праці працівників, що обслуговують посівний агрегат визначимо за рівнянням:

$$Z = \frac{H_{mp} \cdot C_{mp}}{W_\tau}, \text{ грн/га} \quad (5.6)$$

де  $H_{mp}$  – кількість працівників задіяних на керуванні посівним агрегатом, осіб.;

$C_{mp}$  – ставка погодинної оплати працівника задіяного на керуванні посівним агрегатом, грн/год.

Амортизаційні відрахування на трактор МТЗ-80 з сівалкою:

$$A = \frac{B_c \cdot a_c}{100 \cdot W_\tau \cdot t_{pc}}, \text{ грн/га} \quad (5.7)$$

де:  $t_{pc}$  – річне завантаження трактора з сівалкою год/рік ;

$B_c$  – вартість трактора МТЗ-80 з сівалкою, грн.;

$W_\tau$  – продуктивність посівного агрегату, га/год.

$a_c$  – базові значення амортизаційних відрахувань на посівний агрегат, 12 %.

Розрахуємо значення витрат пов'язаних з поточними ремонтами та обслуговуванням трактора МТЗ-80 з сівалкою за формулою:

$$T = \frac{B_c \cdot b_c}{100 \cdot W_\tau \cdot t_p}, \text{ грн/га} \quad (5.8)$$

де:  $b_c$  – базові значення відрахувань на ТО і ПР становлять, 10 %.

Розрахуємо значення витрат на енергоресурси а саме на пальне при експлуатації трактора МТЗ-80 з сівалкою за формулою:

$$B_{pec} = B_{пмм}, \text{ грн/га} \quad (5.9)$$

де  $B_{пмм}$  – вартість пального, грн/кг;

Тоді значення загальних витрат на енергоресурси визначимо за рівнянням:

$$B_{пмм} = Z_{пмм} \cdot Ц_{пмм}, \text{ грн/га} \quad (5.10)$$

де  $Z_{пмм}$  - витрати дизеля на посів, кг/га;

$Ц_{пмм}$  – вартість дизеля станом на 2024 рік становить 50 грн/кг.

Інші витрати визначимо за рівнянням:

$$IB = \frac{B_{он} + A + T + B_{pec}}{100} \cdot 5, \quad (5.11)$$

Економічний ефект визначається як різниця між витратами на виконання посівних робіт у базовому та проектному варіантах з урахуванням експлуатаційних витрат та приросту доходів від збільшення врожайності:

$$E_{EP} = (B^B_{екс} - B^П_{екс}) + (\Pi^П_{П} - \Pi^B_{П}), \text{ грн/га}, \quad (5.12)$$

де:  $\Pi_{\Pi}^{\Pi}, \Pi_{\Pi}^B$  – доходи від врожаю відповідно в проектному та базовому варіантах, грн/га.

Загальний економічний ефект з урахуванням річного завантаження посівного агрегату визначимо за рівнянням:

$$E_{ЗЕР} = E_{EP} \cdot W_p \quad (5.13)$$

Термін окупності з урахуванням вкладення інвестицій в розробку сівалки точного висіву:

$$T_o = \frac{Bi}{E_{ЗЕР}} = \frac{43200}{91768,93} = 0,5 \text{ року} \quad (5.14)$$

де  $Bi$  - інвестиції в розробку сівалки точного висіву, грн

Результати розрахунків згідно приведеної методики наведемо в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Економічні показники роботи

Показник	Варіанти		Проектний варіант в грн(+/-) до базового
	Базовий	Експерим.	
1	2	3	4
Склад агрегату	МТЗ-80 + СЗ-3,6	МТЗ-80 + ПСТВ-3,6	-
Технологічна операція	Посів колосових	Посів колосових	-
Річне завантаження агрегату, га	160	160	-
Балансова вартість агрегату, грн	672000	715200	43200

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4
Швидкість руху агрегату, км/год	9	9,5	0,5
Продуктивність, га/год	3,21	3,39	0,18
Витрата палива, кг/га	4,9	4,5	-0,4
Експлуатаційні витрати , грн/га	1284,42	1279,33	-5,09
У тому числі:			
на оплату праці, грн/га	49,36	46,7	-2,66
на амортизацію, грн/га	504	513,9	9,9
на поточний ремонт і обслуговування, грн/га	420	428,25	8,25
на енергоресурси, грн/га	249,9	229,5	-20,4
на інші витрати, грн/га	61,16	60,9	-0,26
Прибуток від реалізації врожаю, грн/га	24450	25150	700
Економічний ефект, грн/га	655,09		
Економічний ефект з урахування річного завантаження агрегату, грн/га	91768,93		
Термін окупності проекту, року	0,5		

**Висновки:**

Загальний річний ефект становить 91 768,93 грн, що робить впровадження проекту доцільним. Впровадження агрегату МТЗ-80 + ПСТВ-3,6 рекомендується для підвищення ефективності посівних робіт, зниження витрат і збільшення прибутковості господарства.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. За результатами проведеного аналізу встановлено, що для реалізації точного координатного висіву насіння зернових колосових культур найбільш ефективним буде використання пневматичних апаратів вакуумної дії з внутрішнім заповненням. Розроблена конструкція пневматичної сівалки дозволить реалізувати координатний висів колосових в задані координати на ділянці поля за швидкості в межах 7-9 км/год з нормою висіву до 10...15 шт. на погонний метр за коефіцієнта варіації розподілу насіння в рядку від 3 до 10 %.

2. За результатами теоретичних досліджень:

- встановлено основні геометричні та експлуатаційно-технологічні показники пневматичної сівалки. Кутова швидкість висівного барабану в межах 3,5...6,5 рад/с. Радіус внутрішньої конічної поверхні барабана коливається в межах від 0,065 до 0,25 м, при цьому час заряджання варіюється в діапазоні 0,09..0,016 с.

- встановлено межі варіювання конструктивно-технологічних показників, а саме:  $\alpha = 30^\circ \dots 40^\circ$ ,  $R = 0,055 \dots 0,155$  м,  $h = 0,1 \dots 1$  м,  $\omega = 3 \dots 6$  с<sup>-1</sup>. Значення присмоктуючої сили для надійного утримання в комірниці насіння ячменю, пшениці та жита відповідно повинно становити 0,00035 Н/м<sup>2</sup> 0,00026 Н/м<sup>2</sup> та 0,00018 Н/м<sup>2</sup>.

3. За результатами експериментальних досліджень:

- для дотримання максимальної рівномірності посіву  $\eta = 85,33\%$  встановлено бажані значення конструктивно-технологічних параметрів розробленої пневматичної сівалки точного висіву, а саме: кут конуса висівного барабана,  $\alpha = 32$  град., кутова швидкість барабана,  $\omega = 3$  рад/с, радіус розташування комірок на висівному барабанові  $R = 0,08$  м.

- польовими дослідженнями підтверджено працездатність та ефективність роботи запропонованого висівного апарату барабанного типу пневматичної сівалки.

4. Розроблені заходи з охорони праці під час експлуатації машино-тракторного агрегату на посівних роботах дозволяє зменшити ризик травматизму, підвищити ефективність виконання робіт та забезпечити безпечні умови праці для всіх учасників процесу. Регулярне навчання персоналу, використання справного обладнання та контроль за дотриманням правил є запорукою безпечної роботи.

Для запобігання НС пов'язаних з витоком аміаку необхідно регулярно перевіряти резервуари, проводити навчання персоналу та оснащувати господарство засобами індивідуального захисту.

5. Загальний річний ефект становить 91 768,93 грн, а термін окупності 0,5 року, що робить впровадження проекту доцільним. Впровадження розробленої сівалки ПСТВ-3,6 рекомендується для підвищення ефективності посівних робіт, зниження витрат і збільшення прибутковості господарства.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [https://uz.ukrstat.gov.ua/statinfo/apk/2023/vyrob\\_sh\\_cult\\_cat\\_2023.pdf](https://uz.ukrstat.gov.ua/statinfo/apk/2023/vyrob_sh_cult_cat_2023.pdf)
2. Землеробство: підручник / [Гудзь В.П., Примак І.Д., Будьонний Ю.В., Танчик С.П.]. – [2-ге вид. перероб. та доп.]. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 464 с.
3. Lykhochvor, V.V., Olifir, Y.M., Tyrus, M.L., Panasiuk, R.M., Ivaniuk, V.Y. (2022). Ecologization of winter wheat growing technology according to optimization of sowing depth. *Ukrainian Journal of Ecology*, 12(1), 1-5. DOI: 10.15421/2022\_327
4. П.В. Сисолін, М.О. Свірень. Висівні апарати сівалок. – Кіровоград, 2004 р. – 160 стр.
5. Д.Г. Войтюк . Сільськогосподарські та меліоративні машини. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.
6. Основи агрономії : навчальний посібник / Л.Ю. Забродоцька. – Луцьк : Інформ.-вид. відділ Луцького НТУ, 2019. – 360 с.
7. Чорномаз П.А. Перспективні методи посіву зернових культур. - У кн.: Прогресивні способи посіву зернових культур. - Д: Вид. Акцент, 2005. - С. 180.
8. Wohab M.A., Mazed M.A., Satter M.A., Khan M.F.R. Design and development of a multi-crop multi-row seed drill // *Agr. Mechan. in Asia Africa Latin America*. – 1999. – Vol. 30, N 4. – P. 30-33.
9. Погорілий Л.В., Шведик Н.С. Обґрунтування параметрів пневматичного апарату точного посіву зернових культур // *Техніка сільському господарстві*. К. - 1993. - № 5-6. - С. 16-18.
10. Патент . №22673 (Україна). Висівний апарат. Кузьменко В.Ф. Бюл. № 22, 1999.
11. Патент. № 58865 (Україна). Відцентровий висівний апарат. Хегай П.А. та ін. Бюл. № 24, 201.
12. <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1286-mashyny-dlia-sivby-kukurudzy.html>



13. <https://www.agrodetail.com/turbosem-ii-ua/>
14. А.с. № 1584793 (СРСР). Пневматичний висівний апарат/Шведик М.С., Кравець І.А., Бодак В.І. – Заявл. 1.02.88 № 4409905/30-15.; Опубл. Бюл., № 30, 1990.
15. <http://www.ast-dnepr.com.ua>
16. <https://elvorti.com/catalog/sivalki-prosapni/vesta-8-profi>
17. Pastukhov V., Boiko V., Tesliuk H., Ulexin V., Kyrychenko R. Study of seed agitation in the fluid of a hydropneumatic precision seeder. European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol 5, No 1 (107). P 36-43. doi:/10.15587/1729-4061.2020.212517
18. Решетило О.М. Аналіз технологічного процесу вакуумного апарату точного висіву з внутрішнім заповненням насінням // Інженерна академія України. Волинське обласне відділення. Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Вип. 3. – Луцьк, 1997. – С. 140-142.
19. Шмат С.І., Шмат В.І. Просапні сівалки Конструювання та технологія виробництва сільськогосподарських машин. Наук. техн. зб. - К.: 2004. - Вип. 11. - С. 22-24.
20. Машини для точного посіву просапних культур. Конструювання та розрахунок. За ред. Л.В. Погорілого. - К.: Техніка, 1987. - 149 с.
21. Погорілий Л.В., Шведік Н.С. Обґрунтування параметрів пневматичного апарату точного посіву зернових культур / Техніка сільського господарства. М. - 1993. - № 5-6. - С. 16-18.
22. Шведик М.С., Решетило О.М. Аналіз процесу заповнення насінням комірчин пневматичного висівного апарата // Інженерна академія України. Волинське обласне відділення. Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Вип. 12. – Луцьк, 2004. – С. 191-199.
23. Решетило О.М. Вплив тиску зернового шару на кут нахилу твірної конусного висівного елемента до горизонту // Наукові нотатки. Вип. 11. – Луцьк, 2002. – С. 289-294.

24. Веденяпін Г.В. Загальна методика експериментального дослідження та обробки дослідних даних. - М.: Колос, 1991. - 199 с.
25. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. – К.: УНК ВО, 1992, 319 с.
26. Бусленко М.П. Математичне моделювання виробничих процесів на цифрових обчислювальних машинах. - К.: Наука, 1999.
27. Бусленко М.П. та Шрейдер Ю.А. Метод статичних випробувань (Монте-Карло) та її реалізація на цифрових обчислювальних машинах. - Статистика, 2001, 420 с.
28. Ящук П.І., Махарінський Є.І. Планування експерименту у машинобудуванні. - К: Вища школа, 2001. - 287 с.
29. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки" № 2245-III зі змінами від 09.04.2014 - № 1193-VII набирає чинності з 26.04.2014 р.
30. «Закон України «Про охорону праці». №2695-XII закон діє у редакції від 21 листопада 2002 р. із наступними змінами.
31. В.І. Голінько. Основи охорони праці: В.І. Голінько; Національний . гірничий. універ-т. –2-ге видання. – Д.: НГУ, 2014. 272 с.
32. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Київ., 2005.

## *ДОДАТКИ*

## Додаток А

### Технічна характеристика експериментальної сівалки ПСТВ-3,6

Показники	Значення
Посівні культури	Пшениця Ячмінь Жито
Ширина захвату сівалки, м	3,6
Швидкість руху сівалки, км/год	9,5
Продуктивність, га/год	3,4
Глибина посіву, см	3-7
Маса сівалки, кг	1260
Тяговий клас трактора, кН	9-14
Тип висівного апарату	Конічний барабанний
Тип приводу пневмосистеми	гідравлічний
Тип приводу барабана	Механічний від ходової системи
Кутова швидкість барабана, рад/с	3-5
Кількість висівних апаратів, шт	2
Кількість сошників, шт	24

## Додаток Б

### Технічна характеристика сівалки прототипу СЗ-3,6



Показник	Одиниці вимір.	Значення
Ширина захвату	м	3,6
Кількість рядків	Шт.	24
Ширина міжрядь	мм	150
Норма висіву:		
- для насіння	Кг/га	15-400
- для міндобрив	Кг/га	25-200
Глибина посіву насіння	мм	40-80
Робоча швидкість	Км/год	9-12
Продуктивність	Га/год	3,1
Місткість баків:		
- для насіння	Дм <sup>3</sup>	600
- для добрив	Дм <sup>3</sup>	400
Маса	Кг	1380