

**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

**Обґрунтування параметрів конструкції та  
дослідження мехатронної системи контролю  
точності роботи висівного апарату гідросівалки**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМЗ-1-20

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Остапчук Ярослав Вікторович

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

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2022

**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)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 р.

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

Остапчуку Ярославу Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Обґрунтування параметрів конструкції та дослідження мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки керівник роботи Кобець Олександр Миколайович к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від  
«24» січня 2022 року № 120

**2. Строк подання студентом роботи** 10.02.2021 р.

**3. Вихідні дані до роботи** Огляд стану питання в галузі машин для реалізації гідровисіву насіння та мехатронних систем керування сівалками. Аналіз літературних джерел, винаходів, останніх досліджень за обраною тематикою.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень. 2. Теоретичні дослідження. 3. Експериментальні дослідження. 4 . Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність роботи. Висновки. Список використаних джерел

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (4 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4) 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кобець О. М., доцент		
2	Кобець О. М., доцент		
3	Кобець О. М., доцент		
4	Кравець В.В., доцент		
5	Вініченко І.І, професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 23.12.2021р

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 29.12.2021 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 13.01.2022р.	Виконав
3	Експериментальний	до 28.01.2022 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 4.02.2022 р.	Виконав
5	Економічний	до 11.02.2022 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 16.02.2022р.	Виконав

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Остапчук Я.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Кобець О.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)



## РЕФЕРАТ

Остапчук Я.В. Обґрунтування параметрів конструкції та дослідження мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

В першому розділі дипломної роботи розглянуто особливості процесу посіву гілосівалками та проведено аналіз та розглянуто параметри мехатронних систем керування та контролю роботи сівалок.

В другому розділі розроблено схему мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарата гідросівалки та проведено обґрунтування конструкційних, режимних та технологічних параметрів системи.

В третьому розділі проведено експериментальні дослідження мехатронної системи та встановлено бажані значення її параметрів для підтримання точного висіву насіння.

В четвертому розділі розглянуто питання охорони праці при експлуатації гідросівалки та заходи по поліпшенню умов праці.

В п'ятому розділі проведено економічну оцінку ефективності розробленої мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки.

Ключові слова: мехатронна система, гідросівалка, дозуючий пристрій, проросле насіння

Остапчук Я.В. Обґрунтування параметрів мехатронної системи забезпечення та контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки/ збірник матеріалів XVIII міжнародної науково-практичної конференції, «Перспективні питання світової науки – 2022».: м. Софія, Болгарія.

## ЗМІСТ

Вступ	8
1 Стан питання і завдання досліджень	11
1.1 Особливості процесу посіву з використанням гідросівалок	11
1.2 Шляхи підвищення точності висіву насіння гідросівалками	16
1.3 Аналіз мехатронних систем контролю та керування роботою висівних апаратів сівалок	18
1.4 Висновки	26
1.5 Мета і завдання досліджень	27
2 Теоретичні дослідження	28
2.1 Теоретичні основи точності роботи висівних апаратів	28
2.2 Розробка конструкційної схеми мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарата гідросівалки	30
2.3 Теоретичне обґрунтування конструкційних, режимних та технологічних параметрів мехатронної системи	33
2.4 Розробка конструкції дозуючого пристрою мехатронної системи контролю точності роботи гідросівалки	38
2.5 Теоретичне обґрунтування конструкційних та технологічних параметрів дозуючого пристрою мехатронної системи	40
Висновки	49
3 Експериментальні дослідження	50
3.1 Програма та методика досліджень	50
3.2 Об'єкт досліджень	50
3.3 Дослідження конструктивних та технологічних параметрів дозуючого пристрою	53

3.4 Дослідження роботи електро-гідро клапана	55
3.5 Дослідження мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату	58
3.6 Висновки	63
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	64
4.1 Організація охорони праці	64
4.2 Стан охорони праці	66
4.3 Аналіз виробничого травматизму	66
4.4 Вимоги з охорони праці під час виконання операції посіву	68
4.5 Заходи по поліпшенню охорони праці та безпеки в НС	70
4.6 Висновок	72
5 Економічна оцінка використання гідровисіву насіння овочевих культур	73
Висновки	81
Загальні висновки	82
Список використаних джерел	84

## ВСТУП

### *Актуальність роботи.*

На сьогоднішній час в сільському господарстві все більше отримує поширення концепція точного землеробства, що дозволяє господарю звести до мінімуму витрати на посівний матеріал, засоби захисту та стимуляції росту рослин. Точне землеробство це перш за все контроль та автоматичне керування технологічними процесами за рахунок розробки мехатронних систем, що поєднують в собі елементи: інтелектуального управління, контролю параметрів та виконавчі пристрої. Завдяки поєднанню елементів електроніки, електротехніки, механіки, гідравліки та пневматики мехатронні системи забезпечують підтримання якісних показників роботи різного типу машин.

На першому етапі проектування таких систем необхідно обґрунтувати параметри технологічних процесів, які будуть контролюватися та підтримуватися. В нашому випадку постає задача розробки мехатронної системи для забезпечення та контролю точності роботи висівного апарата гідросівалки, що дозволить забезпечити зв'язок та контроль між робочими параметрами та якісними показниками роботи сівалки, а саме точністю висівів.

Ключовим завданням процесу висіву являється розміщення насіння в ґрунті на необхідній глибині та з інтервалом між висівами, який забезпечить необхідний простір для розвитку культури в плані освітлення та живлення. Особливістю гідровисіву являється транспортування пророслого насіння рідиною з можливістю одночасного внесення засобів захисту та стимуляції росту. Це сприяє прискоренню процесу проростання та отримання ранніх і дружніх сходів, що в цілому позитивно впливає на процес вегетації рослин та приріст врожайності. Але крім позитивних сторін гідровисіву є і негативна сторона даного різновиду посіву.

Основною із ключових проблем гідропосіву являється ймовірний характер розподілення насіння в рядку, що пов'язано з конструктивними особливостями гідросівалок, а саме відсутністю дозуючих пристроїв, які б забезпечили поштучний відбір насіння з псевдозрідженого шару в якому воно знаходиться.



Для вирішення даної проблеми актуальним буде розробка мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарата гідросівалки з дозуючим пристроєм для однонасінного точного висіву насіння овочевих культур.

**Мета роботи** - підвищення точності висіву гідросівалок шляхом розробки дозуючого пристрою мехатронної системи контролю роботи висівного апарата з обґрунтуванням конструкційних та технологічних параметрів.

**Задачі досліджень.** Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення наступних задач:

- на основі проведеного аналізу розробити схему мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарата гідросівалки та конструкцію дозуючого пристрою;

- теоретично обґрунтувати конструкційні, режимні та технологічні параметри мехатронної системи гідросівалки;

- теоретично обґрунтувати конструкційні та технологічні параметри дозуючого пристрою мехатронної системи

- провести експериментальні дослідження впливу режимних та технологічних параметрів мехатронної системи на якісні показники роботи гідросівалки. Встановити бажані значення параметрів для забезпечення точного висіву гідросівалки.

- оцінити запропоновану мехатронну систему контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки з точки зору охорони праці.

- визначити техніко-економічну ефективність розробленої мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки.

**Об'єктом досліджень** технологічний процес висіву насіння гідросівалкою.

**Предметом досліджень** є обґрунтування параметрів мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарата гідросівалки.

**Методи дослідження.** Теоретичні та експериментальні дослідження

виконано з використанням розробленої лабораторної установки та стандартних методик планування і проведення експериментальних досліджень, з використанням відео та фото фіксації результатів. Використано положення хімії, гідравліки, пневматики, математичного аналізу.

#### **Наукова новизна роботи:**

- вперше розроблено конструкцію та методику розрахунку основних параметрів дозуючого пристрою мехатронної системи контролю точної роботи висівного апарату гідросівалки;

- встановлено діапазони конструктивних та технологічних параметрів дозуючого пристрою мехатронної системи контролю точної роботи висівного апарату гідросівалки;

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Розроблена конструкція дозуючого пристрою мехатронної системи та отримані раціональні значення конструкційних та технологічних параметрів дозволили реалізувати точний однонасінневий гідравлічний висів насіння.

**Публікації.** За результатами проведеної роботи опубліковано тези.

Остапчук Я.В. Обґрунтування параметрів мехатронної системи забезпечення та контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки/ збірник матеріалів XVIII міжнародної науково-практичної конференції, «Перспективні питання світової науки – 2022».: м. Софія, Болгарія.

## 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Особливості процесу посіву з використанням гідросівалок

Гідровисів насіння – це спосіб посіву насіння, який відбувається за рахунок виливання чи розпилювання рідини разом з насінням та мульчою на поверхню ґрунту. Став поширеним в 60 роки минулого століття з появою машин та технологій для його реалізації.

Піонерами в реалізації гідропосіву є американці. Ще в сорокові роки минулого століття засновник компанії «Finn» Чарлз Фін розробив пристрій для розпилення мульчі [1], що складалася з соломи та рідини. Розроблений розпилювач дозволяв наносити мульчу на поля з різної складності рельєфу. Реалізацію ж гідровисіву насіння запропоновано в 50-ті роки минулого століття службовцем департаменту транспорту з Коннектикута Морісом Менделлем. Проведені дослідження на розпиленні рідини з насінням на крутих дорожніх укосах показали відмінні результати приживання насінневого матеріалу на їх озелененні.

В подальшому Чарльзом Фінном було теж підхоплену дану ідею та адаптовано під його розпилювач мульчі. Це посприяло прискоренню розробки першої комерційної моделі гідросівалки, яку було апробовано на озелененні дорожніх укосів у штаті Вірджинія. Насіння разом мульчою розмішувалося мішалками у воді та за допомогою насосу та розпилювача наносилося на узбіччя доріг рис.1.1.

Продовженням вдосконалення технології гідропосіву запропонованої Фінном зайнялася паперова компанія «International Paper», яка почала використовувати мульчу з відходів виробництва паперу тобто деревини. Волокна які отримували в процесі переробки відходів деревини почали використовувати, як основний компонент для мульчування «Turf Fiber».



Рис. 1.1 Перша комерційна гідросівалка компанії «Finn» [1]

Застосування нового матеріалу для мульчування призвело до проведення глибокої модернізації гідросівалки, а саме валів змішувачів, насосної установки та шлангів. Проведена модернізація забезпечила безперебійну надійну роботу гідросівалки з новим матеріалом мульчі. вимоги до насосного обладнання для впевненого прокачування суміші шлангами до місця розпилу. Всі ці процеси подальшого розвитку гідросівалок відштовхнула компанію Чарльза Фінна на другу позицію, яка застрягла на доопрацюванні відцентрового насоса, а новим гравцем на ринку гідросівалок стає компанія «International Paper» та компанія «Bowie Industries», що спеціалізується на виробництві роторних лопатевих насосів Bowie, які застосовуються в компаніях по видобутку нафти. Насоси даної компанії вже протягом 60 років являються еталоном в виробництві надійних гідросівалок. Також компанією розроблено подрібнювач брикетів з мульчою, що вплинуло на скорочення часу на підготовку посівної машини до роботи. Загальний вигляд модернізованої гідросівалки представлено на рис. 1.2.

Проведена реорганізація компанії International Paper призвела до появи двох компаній по виробництву мульчі Weyerhaeuser та Conwed Fibers. Conwed

займається виробництвом мульчі з використанням тополі і осики, а компанія Weyerhaeuser використовує в якості матеріалу для виробництва канадську ялину, та целюлозу. В зв'язку з низькою вартістю целюлоза отримала поширення в бюджетних проектах озеленення.



Рис. 1.2 Гідросівалка компанії «International Paper» з насосом «Bowie» [1]

В сімдесяті роки минулого століття відбувається новий виток розвитку технологій гідропосіву в напрямку рекультивації земель, що зазнали техногенного впливу, що спричинили викопні роботи по добуванню руди, вугілля, будівельних матеріалів тощо.

Це додатково збільшило сферу застосування посіву та розширило кількість компаній по виробництву матеріалів та машин.

На даний час технологія гідровисів набирає обертів і широко застосовується в ландшафтному дизайні, а також в таких сферах як туризм, спорт та відпочинок. Для відновлення лісів після пожеж, рекультивації земель, зміцнення ухилів узбіч біля доріг, формування полів для гольфу та стадіонів та ін. На рисунку 1.3 представлено сучасну машину для реалізації гідровисіву компанії Finn. Компанія надолужила прогалини в технології виробництва гідросівалок і зайняла передове місце серед виробників даного типу машин.



Рис. 1.3 Гідросівалка Finn BV 5-Series Bark [2]

В Україні та країнах СНГ розробкою, дослідженням та впровадженню гідросівалок в агропромисловому секторі присвячені роботи [3-12] Ольховського М.Ф., Бакума М.В., Ящука Д.А., Дейнеки С.М., Улексіна В.О., Бойка В.Б., Кондратьєва В.Н та ін.

Розглянемо особливості процесу гідровисіву на прикладі гідросівалки (рис. 1.4), розробленої науковцями Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка в співпраці з інститутом овочівництва і баштанництва НААН [13].

Робочий процес гідросівалки розпочинається з наповнення резервуару 1 через заливну горловину 3 водою з засобами захисту та стимуляції росту. Потім проводимо додавання пророщеного насіння. Для формування суміші з заданою концентрацією вмикається привід мішалки 14, який складається з гідромотора 16 та клинопасової передачі 17.

За допомогою гідроциліндра 10 посівні секції 8 опускаються на задану глибину роботи сошників 7. Під час руху сівалки суміш з резервуару 1 подається по центральному трубопроводу 4 до гідравлічного висівного апарата 5 з відкілья методом розподілення та проливання рідини по насіннєпроводах 6

насіння потрапляє до насінневого ложе сформованого сошниками 7. Закривання та прикочування борозенок виконується за допомогою котків 11.

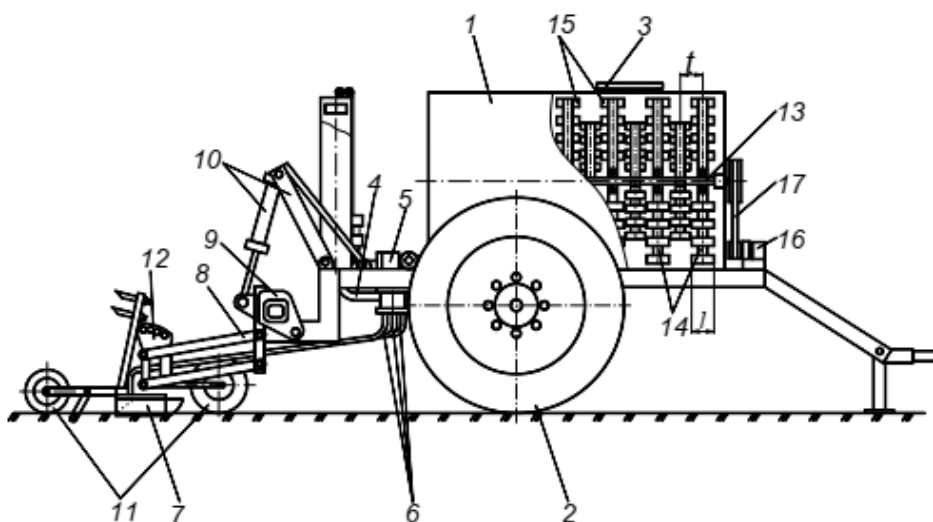


Рис. 1.4 Загальний вигляд гідросівалки ЮБ НААН [13]

- 1 – резервуар; 2 – одновісний напівпричеп; 3 – заливна горловина;  
 4 – трубопровод; 5 – гідравлічний висівний апарат; 6 – сім'япроводи;  
 7 – сошники; 8 – посівні секції; 9 – рама сівалки; 10 – гідроциліндр;  
 11 – котки; 12 – регулювальний механізм глибини ходу сошника;  
 13 – вал мішалки; 14 – лопатева мішалка; 15 – лопаті;  
 16 – гідромотором; 17 – клинопасова передача

Постійне значення концентрації насіння незалежно від рівня заповнення резервуару рідиною з насінням підтримується за рахунок мішалок 14 на яких



розташовані лопаті 15. Зниження травмування пророслого насіння досягається за рахунок мінімальних обертів ведучого валу 13 мішалки. Отримані результати досліджень на посіві томатів довели перевагу гідропосіву, що вплинула на приріст польової схожості на 17 %, а врожаю до 48 ц/га.

## 1.2 Шляхи підвищення точності висіву насіння гідросівалками

Аналізуючи особливості конструкції існуючих гідросівалок, як закордонного так вітчизняного виробництва процес посіву в них відбувається за рахунок проливання рідини, яка транспортує насіння. Процес розподілення насіння носить випадковий характер, що погіршує характеристику роботи гідросівалки, так як розподілення в рядкові теж буде випадковим. Вирішенню даної проблеми присвячені роботи [14-16] Улексіна В.О., Теслюка Г.В., Бойка В.Б., Алієва Е.Б., Пастухова В.І., Кириченко Р.В., Буржалова Г.Ю., Труфляка Є. В. та ін. Розглянемо найбільш актуальні із них.

Так в авторському свідоцтві US № 1660602 [17] з метою забезпечення точного висіву запропоновано пристрій для реалізації однонасінного гідровисіву загальний вигляд якого наведено на рис. 1.5.

Робота пристрою відбувається в наступному порядку. Насіння, що осіло на дні бункера 2 захоплюється за рахунок розрідження в каналі 4 та трубці 6, яке утворюється зміщенням поршня 15 праворуч відносно гідроциліндра 14.

Клапан 13 відкривається і з резервуару 10 надійде рідина по трубці 12 через виконані в корпусі канали 3 і 5 до бункера з насінням. Це зумовить видалення зайвого насіння, з дна бункера в верхню частину, залишивши одну насініну на трубці 6. Переміщуючи поршень ліворуч корпус 15 зміститься праворуч потоком рідини насініна відійде від трубки 6 та потоком рідини переміститься до насіннепроводу 7 дозатора насіння 8. При цьому порція рідини, що надходить з бункера 2 надходить в праву камеру гідроциліндра 14, при переміщенні в право ця порція витісняється через зворотній клапан 16 в резервуар 10.



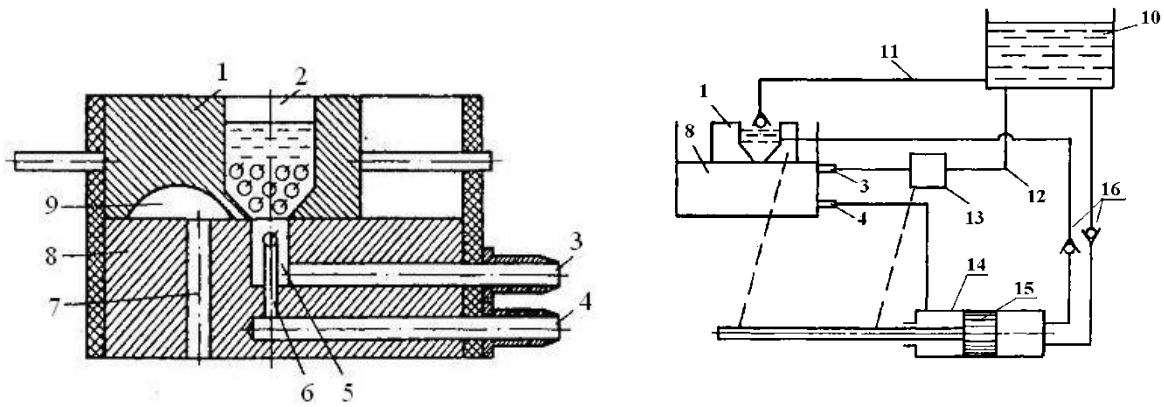


Рис. 1.5. Пристрій висіву пророслого насіння:

1 – верхня частина дозуючого пристрою; 2 – бункер; 3, 4, 5, 9 – канал дозуючого пристрою; 6 – трубка; 7 – насіннепровід; 8 – дозатор насіння; 10 – резервуар; 11, 12 – трубопровід; 13, 16 – зворотній клапан; 14 – гідроциліндр; 15 – поршень

Також на особливу увагу заслуговує конструкція дозуючого пристрою для гідравлічних сівалок запропонована науковцями Дніпровського державного аграрно-економічного університету схема, якої наведена на рисунку 1.6 [18].

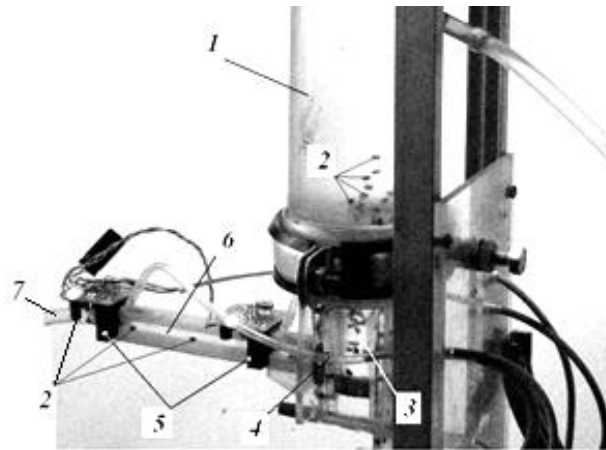


Рис.1.6 Лабораторна установка для дослідження роботи дозатора гідропневматичного висівного апарату [18]

1 –бак для насіння; 2 – насіння ; 3 – забірна камера; 4 – вхід до дозатора насіння; 5 – фотодатчики дозатора насіння; 6 – дозатора насіння; 7 - ствол

Робота дозатора висівного апарату розпочинається з відкриття гідроклапана на малюнку не вказано через, який рідина надходить до бака 1 де

розміщується насіння з рідиною. Далі рідина разом з насінням, що знаходиться в псевдозрідженому шарі витісняється з забірної камери 3 до дозатора 6 і зупиняється в зоні розміщення фотодатчика дозатора 5. Таким чином за допомогою дозатора 6 в ствол 7 заходить лише одна насінина, що забезпечує точний висів насіння гідропневматичним висівним апаратом.

### 1.3 Аналіз мехатронних систем контролю та керування роботою висівних апаратів сівалок

*Система керування роботою селекційних сівалок Row Motion [19].* Система призначена для контролю та керування роботою селекційних сівалок Row Motion (рис. 1.7), що забезпечують пунктирний однонасінневий посів.



Рис. 1.7. Посів селекційною сівалкою Row Motion

Висіваючий апарат має електропривод роботи, якого підтримує мехатронна система, а саме блок системи управління основними параметрами селекційної сівалки (рис. 1.8). За допомогою датчиків розміщених на сошниках та дозуючому пристрої відбувається контроль точного висіву насіння. Сигнали з датчиків надходять на блок системи керування, після чого за допомогою

програмного забезпечення інформація виводиться на кольоровий сенсорний екран. Всі технологічні процеси робочого циклу селекційної сівалки виконуються за допомогою програмного забезпечення Easy Plant.



Рис. 1.8. Мехатронна система eMotion керування селекційною сівалкою *Row Motion*

Система керування eMotion, оснащена інтуїтивним сучасним інтерфейсом, що дозволяє користувачу швидко опанувати алгоритми налагодження режимів роботи сівалки. Система дозволяє через USB-порт завантажити план поля для полегшення встановлення норми висіву насіння та необхідної кількості добрив. Нижче приведено основні параметри які контролює система:

- засіяна площа, га;
- реєстрація дати і часу виконання робіт на полі;
- довжина ділянок, м;
- швидкість посіву (км/год);
- відстань між ділянками, м;
- схеми розміщення технологічних колій;
- норму висіву насіння кг/га;
- кількість пропусків;

- самодіагностика;
- майстер калібрування дозатору.

На рисункові 1.9 представлено загальний вигляд дозатора з диском Ойорда селекційно сівалки



Рис. 1.9 Конічний дозатор точного розподілення насіння по рядкам

Роботу дозатора контролює та підтримує система керування eMotion, що забезпечує високу точність дозування насіння по сошникам та експлуатаційну надійність посівного агрегату.

*Мехатронна система «Record».* Дана система застосовується для контролю роботи сівалки «Accord Optima» (рис. 1.10) [20].

Пневматичні сівалки точного висіву «Accord Optima» забезпечують точний пунктирний висів завдяки системі контролю роботи «Record», а саме за допомогою зворотного зв'язку, що створюють датчики (контролю насіння, частоти обертання дозуючого диску, та вакууму пневматичного дискового висівного апарату) між блоком керування і виконавчими пристроями.





а



б



в

Рис. 1.10. Мехатронна система «Record:

- а – загальний вигляд сівалки точного висіву «Accord Optima»;
- б – дисплей мехатронної системи керування і контролю «Record»;
- в – датчик контролю насіння на дозуючому дискові пневматичного висівного апарата

Система підтримує та контролює основні параметри сівалки точного висіву:

- реєстрація дати і часу виконання робіт на полі;
- засіяна площа, га;
- площа засіяна з відхиленнями від норми, га;
- швидкість посіву (км/год);
- норма висіву, шт/м.п.;
- кількість пропусків, %;

- норма висіву, тис/га;
- кількість насіння висіяного по секціях, шт;
- загальна кількість висіяного насіння, шт;
- пройдений шлях, км;
- інтервали між висіяним насінням см.
- кількість аварійних випадків по секціям, шт;

*Мехатронна система керування сівалкою точного висіву Клен-1,5 [21].*

Селекційна сівалка «Клен – 1,5» забезпечує пунктирний висів насіння зернових, бобових, овочевих та круп'яних культур на селекційних та дослідних ділянках. Загальний вигляд сівалки наведено на рисунку 1.11.



Рис. 1.11 Загальний вигляд селекційної сівалки Клен-1,5 [21].

- 1 – рама сівалки; 2 – котки та дводискові сошники;
- 3 – опорні колеса; 4 – дозатор насіння; 5 – сидіння оператора;
- 6 – мехатронна система управління і контролю роботи сівалки;
- 7 – платформа для посівного матеріалу; 8 – загортачі

Сівалку обладнано мехатронною системою «Клен-С2», до складу якої входять: блок керування, елементи контролю та виконавчі пристрої дозування насіння. Підключається система до бортової мережі трактора через силовий

блок, в якому знаходиться автоматичний вимикач системи захисту від аварійних режимів роботи мережі живлення. За допомогою пульта керування розміщеного в кабіні трактора відбувається оперативне встановлення норми висіву насіння, контроль роботи дозатора, облік норми виробітку. Загальний вигляд компонентів системи представлено на рисунку 1.12.

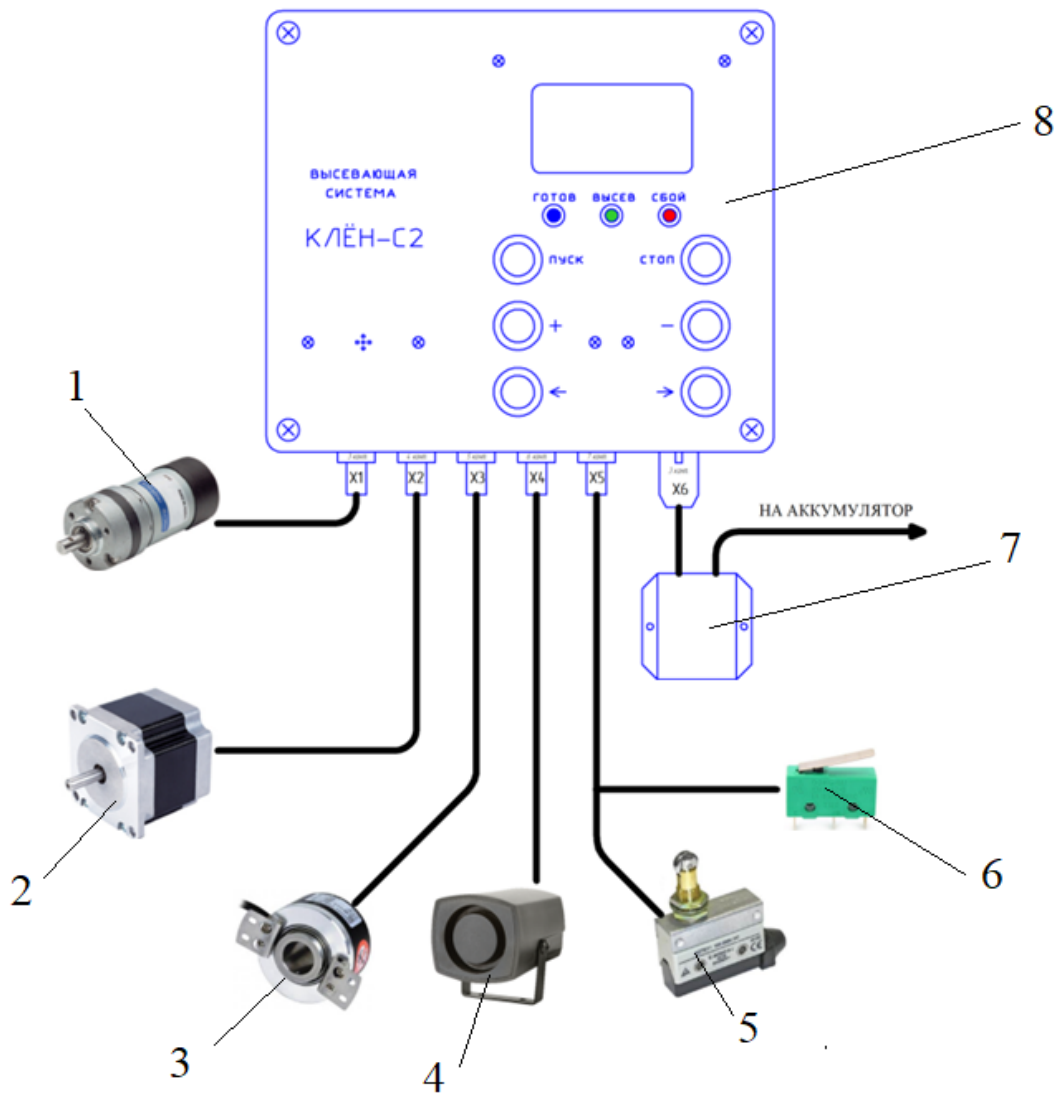


Рис. 1.12. Компоненти мехатронної системи Клен-С2

- 1 – мотор-редуктор розкидача; 2 – кроковий двигун дозатора;  
 3 – датчик частоти обертання колеса; 4 – аварійний сигналізатор;  
 5 – датчик положення дозатора; 6 – датчик завантаження дозатора;  
 7 – автоматичний вимикач живлення; 8 – блок керування

Розглянемо призначення кожної складової мехатронної системи керування Клен-С2. *Блок керування 8* - це основний вузол системи, керування яким здійснює оператор. На блокові розміщено дисплей, світлові індикатори, кнопок навігації та подачі сигналу трактористу. За допомогою блока здійснюється керування електричними елементами сівалки за обраним режимом роботи.

В якості *двигуна дозатора 2* обрано кроковий двигун, що забезпечує привід дозатора висівного апарата сівалки.

*Мотор-редуктор розкидача* забезпечує розподіл насіння по сошниках, в якості привода використовується електродвигун колекторного типу. Контроль його роботи відбувається за зміною значення струму споживання, що контролює блок керування.

В якості *датчика частоти обертання колеса 3* використовується оптична пара розташована у ступиці лівого опорного колеса. За даними датчика визначається швидкість руху сівалки, пройдена відстань, виробіток сівалки.

В якості *датчика положення дозатору 5* використовується кінцевий вимикач, що спрацьовує при перекритті вихідного отвору дозатора. Налаштування датчика здійснюється механічним шляхом під час калібрування висівного апарату. В момент розмикання контактів дозатор зупиняється.

Ще один кінцевий вимикач використовується в якості *датчика завантаження дозатору 6*. Натиснувши на ручку завантаження ланцюг протікання струму замкнеться (опускання конусу).

*Як уже говорилося раніше автоматичний вимикач живлення 7* забезпечує захист системи керування сівалкою від короткого замикання у разі зростання струму навантаження чи пошкодження дротів живлення. Виконує роль вимикача мережі живлення електричних елементів сівалки.

Процес роботи сівалки відбувається наступним чином. Засипане в бункер насіння рівномірно розподіляється по конусу в момент відкривання воронки бункера. В момент початку руху дозатор вмикається і насіння порціями потрапляють до ротаційного розкидача, за допомогою якого насіння рівномірно розподіляється насіннепроводах а далі потрапляє у борозни сформовані



сошниками, скочуючи по яких вони через сошник потрапляють на дно борозен, що утворюються дисками сошників у ґрунті. Завершальний процес висіву закривання борозен виконують загортачі разом з котками.

*Мехатронна система «OmniSeed» для керування роботою пневматичними сівалками точного посіву [22].* Для керування пневматичними сівалками закордоном використовується найсучасніша повністю інтегрована система керування «OmniSeed», що дозволяє забезпечити повний контроль основних параметрів посівних агрегатів точного висіву (рис. 1.13, а) з метою підвищення точності висіву та продуктивності. Керування здійснюється за допомогою багатофункціонального польового комп'ютера «Viper Pro» (рис. 1.13, б).



а



б

Рис. 1.13. Процес висіву з використанням системи «OmniSeed» [22]:  
а – посів пневматичною сівалкою обладнаною системою «OmniSeed»;  
б – багатофункціональний польовий комп'ютер «Viper Pro» системи керування «OmniSeed»

Поєднання системи керування «OmniSeed» та польового комп'ютера «Viper Pro» дозволяє забезпечити висів різного насіннєвого матеріалу з

контролем швидкості та роботи висівних апаратів пневматичної сівалки

Моніторинг дозуючих елементів сівалки здійснюється за допомогою вбудованої системи AgTron. Керування дозуючим пристроєм відбувається за допомогою електричного двигуна та гідравлічної муфти. Контроль рівня заповнення бункерів насіння виконується за допомогою ультразвукових датчиків.

Також система контролює стан ґрунту та вплив на нього рушіїв посівного агрегату. Вся інформація накопичується та зберігається для подальшого аналізу стану посівної площі.

#### 1.4 Висновки

1. Основною перевагою гідросівалок є можливість реалізації висіву пророслого насіння, що пришвидшує появу сходів овочевих культур від 7 до 14 днів ніж при класичному сухому методі посіву. Прискорення вегетації дозволяє отримати стійкі дружні сходи, і як результат приріст за рахунок цього врожайності вирощуваних культур. Але крім переваг такого способу посіву є суттєві недоліки гідросівалок – це нерівномірність розподілення насіння в рядку, що пов'язано з випадковим характером розподілення насіння в рідині. Застосування різного типу мішалок не вирішую дану проблему.

2. Проведений аналіз довів, що підвищити точність висіву гідросівалок можливо тільки за рахунок встановлення додаткових пристроїв дозаторів, що дозволять реалізувати однонасінневий відбір насіння з псевдозрідженого шару з послідуочим його висівом.

3. Врахувавши переваги та недоліки висівних апаратів гідросівалок та існуючих систем керування, поставлено задачу розробити пристрій для дозування насіння та мехатронну систему керування гідросівалкою. Це дозволить вирішення проблему пов'язану з низькою точністю висіву гідросівалок.

## 1.5 Мета і завдання досліджень

Мета роботи - підвищення точності висіву гідросівалок шляхом розробки дозуючого пристрою мехатронної системи контролю роботи висівного апарата з обґрунтуванням конструкційних та технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети було висунуто наукову *гіпотезу*, згідно з якою підвищення точності висіву гідросівалки можливо досягти шляхом дозованого відбору насіння з псевдозрідженого шару з послідуочим його висівом.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення наступних задач:

- на основі проведеного аналізу розробити схему мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарата гідросівалки та конструкцію дозуючого пристрою;
- теоретично обґрунтувати конструкційні, режимні та технологічні параметри мехатронної системи гідросівалки;
- теоретично обґрунтувати конструкційні та технологічні параметри дозуючого пристрою мехатронної системи
- провести експериментальні дослідження впливу режимних та технологічних параметрів мехатронної системи на якісні показники роботи гідросівалки. Встановити бажані значення параметрів для забезпечення точного висіву гідросівалки.
- оцінити запропоновану мехатронну систему контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки з точки зору охорони праці.
- визначити техніко-економічну ефективність розробленої мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Теоретичні основи точності роботи висівних апаратів

Найбільш відповідальним вузлом висівних апаратів точного висіву є дозуючий пристрій. Найбільше поширення отримали дозуючі пристрої дискового, барабанного, втулкового та котушкового типів. Дозуючі пристрої повинні забезпечувати одиночний відбір насіння з загального об'єму та забезпечити його надійну подачу до сошника. Дослідженню роботи дозуючих пристроїв сівалок присвячені роботи В.В. Батуріна, Б.І. Журавльова, Д.Г. Вальянова, С.А. Ма, П.В. Сисоліна, В.О. Улексіна, В.Б. Бойка, Л.С. Зеніна, В.І. Пастухова, Д.І. Петренка, Р.В. Кириченка, В.І. Мельника [23-34]

Основні фактори які впливають на процес заповнення чи утримання насіння елементами дозуючих пристроїв є розміри, форма та властивості насіння, конструкційні та технологічні параметри елементів дозуючих пристроїв. Основним із технологічних параметрів являється сила присмоктування насіння до отвору дозуючих пристроїв. В.В. Батуріним [24] запропоновано її визначати за формулою:

$$F_{np} = \Delta P \cdot f_{отв.}, \quad (2.1)$$

де  $\Delta P$  – перепад тиску відповідно в насінневій та вакуумній камері;

$f_{отв.}$  – площа перерізу отвору присмоктування насіння.

Дана формула являється актуальною лише ідеального випадку прилягання насіння до отвору.

Введення поправочного коефіцієнта запропоноване Д.Г. Вальяновим дозволило поліпшити точність розрахунків сили присмоктування [26]:

$$F_{np} = k \cdot \Delta P \cdot f_{отв.}. \quad (2.2)$$

За результатами досліджень дозуючих пристроїв висівних апаратів Л.С. Зеніним отримано емпіричну формулу визначення сили присмоктування насіння до отвору [28]:

$$F_{np} = \frac{a \cdot F_{np.o.}}{\left(\frac{x}{d_{отв}}\right)^2 + a}, \quad (2.3)$$

де  $a$  – поправний коефіцієнт, значення якого становить 0,019;

$F_{np.o.}$  – сила, притискання насінини до отвору;

$d_{отв}$  – діаметр отвору.

Дослідження Б.І. Журавльова довели вплив на присмоктувальну силу аеродинамічних факторів, які враховані в отриманій ним формулі [25]:

$$F_{np} = k \cdot f_{отв} \cdot \gamma \cdot \frac{(v_n - v_H)^2}{g}, \quad (2.4)$$

де  $v_H$  та  $v_n$  – швидкість руху насіння і повітря;

$g$  – прискорення вільного падіння.

$\gamma$  – питома вага повітря;

Отримані рівняння дозволяють визначити тільки наближене значення сили присмоктування, так як в них не враховано сили тертя та інерції, які діють на насінину. В дослідженнях проведених С.І. Шматом враховано умову рівноваги сил, що діють на насінину, та отримано рівняння визначення сили присмоктування насінини до комірок дозатора висівного апарата [29]:

$$P_{np} \geq \frac{m \cdot g \cdot (1 - \operatorname{tg} \phi_1 \cdot \cos \beta) + P_0 + m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \cos \beta}{\operatorname{tg} \phi_1} + \frac{m \cdot \sqrt{\varepsilon^2 \cdot R + \omega^2 \cdot R^2 \cdot \cos \beta}}{\operatorname{tg} \phi_1}, \quad (2.5)$$

де  $P_0$  – сила осьового тиску;

$m$  – маса насінини;

$\phi_1$  – кут тертя насіння по поверхні дозуючого пристрою;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$\beta$  – кут повороту насінини, відносно горизонтальної вісі диска;

$\omega$  – кутова швидкість дозуючого пристрою;

$\mathcal{E}$  – кутове прискорення дозуючого пристрою.

$R$  – радіус дозуючого пристрою;

Для визначення точності висіву насіння сівалками, яка оцінюється за кількістю пропусків використовується рівняння [30]:

$$\tau_e = \left( \frac{N_z - N_n}{N_z} \right) \cdot 100\% \quad (2.6)$$

де  $N_n$  – кількість пропусків висівів насіння;

$N_z$  – задана кількість висівів насіння;

## 2.2 Розробка конструкційної схеми мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарата гідросівалки

Враховуючи проведений аналіз мехатронних систем керування і контролю роботи висівних апаратів сівалок а так врахувавши положення наведені в працях [35-37] Розроблено конструктивну схему (рис. 2.1) та обрано основні компоненти мехатронної системи для контролю точної роботи висівного апарата гідросівалки (рис. 2.2). Розглянемо принцип роботи мехатронної системи згідно рисунку 2.1. Основним елементом мехатронної системи являється модуль керування 11, який розроблено на апаратно-програмному комплексі «Arduino Nano». Модуль дозволяє контролювати наступні параметри: швидкість руху гідросівалки за допомогою оптичного датчика 6 частоти обертання опорного колеса 7. Наступний параметр, що контролює модуль є концентрація насіння в забірній камері дозуючого пристрою 12. Концентрацію насіння відслідковуємо за сигналами з оптичного датчика 19 та підтримуємо автоматично на встановленому рівні за допомогою насосу 7 з електроприводом 10. Контроль заряджання ствола 16 здійснюється за сигналами з оптичного датчика 14. За умови відсутності насіння датчик 14 формує сигнал на модуль 11 для відкривання електро-гідравлічного клапана 4.

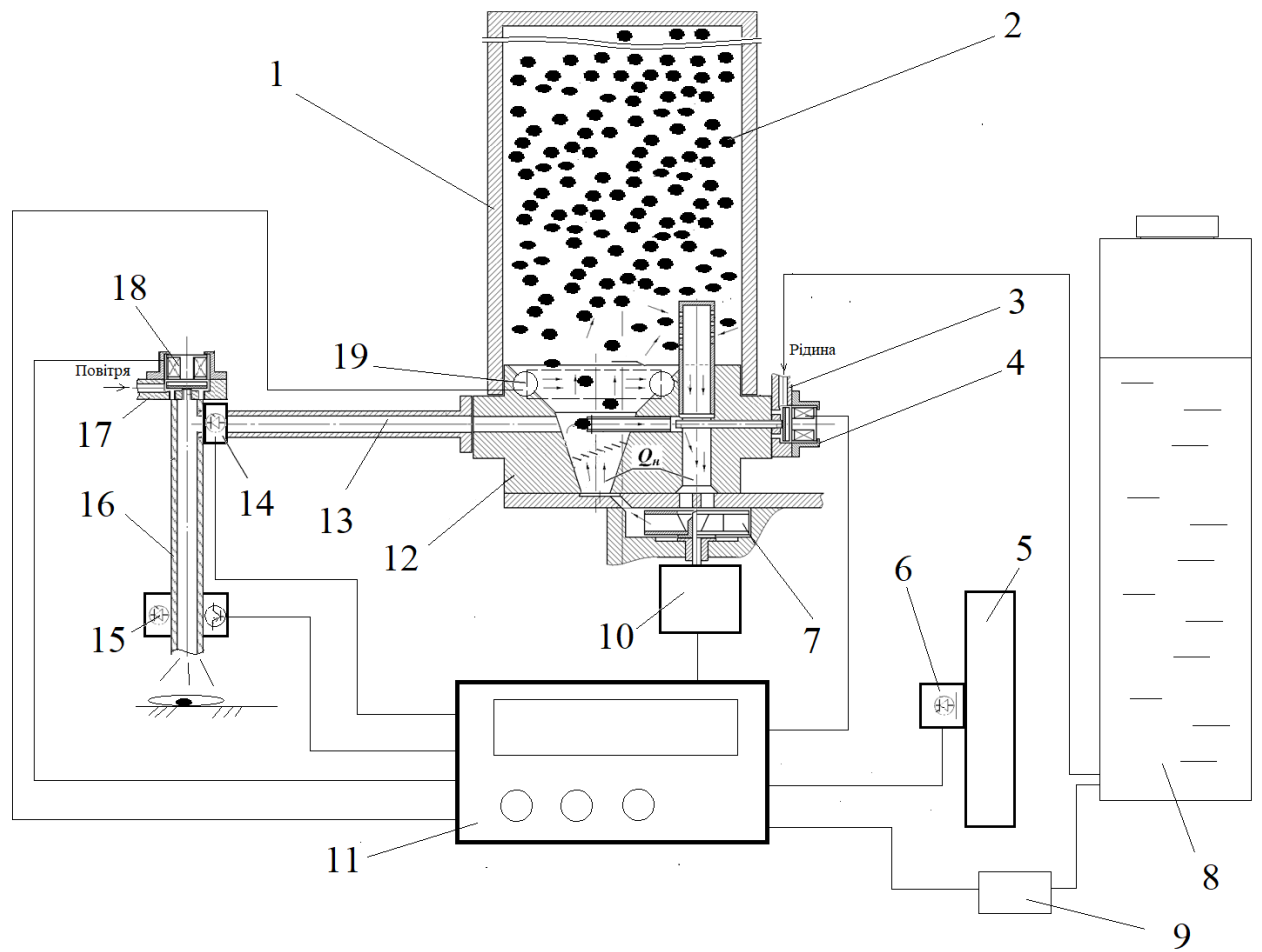


Рис. 2.1. Загальний вигляд гідросівалки з мехатронною системою контролю точності роботи висівного апарата

1 – бак; 2 – насіння; 3 – магістраль подачі рідини; 4 – електро-гідро клапан; 5 – опорне колесо; 6 – датчик частоти обертання опорного колеса; 7 – насос; 8 – резервуар для рідини; 9 – датчик тиску рідини в резервуарі; 10 – електропривод насоса; 11 – модуль керування мехатронної системи; 12 – дозуючий пристрій; 13 – насіннепровід; 14 - оптичний датчик контролю заряду ствола насінням; 15 – оптичний датчик контролю висіву насіння; 16 – ствол; 17 – магістраль подачі стиснутого повітря; 18 – електро-пневмо клапан; 19 – оптичний датчик контролю концентрації насіння

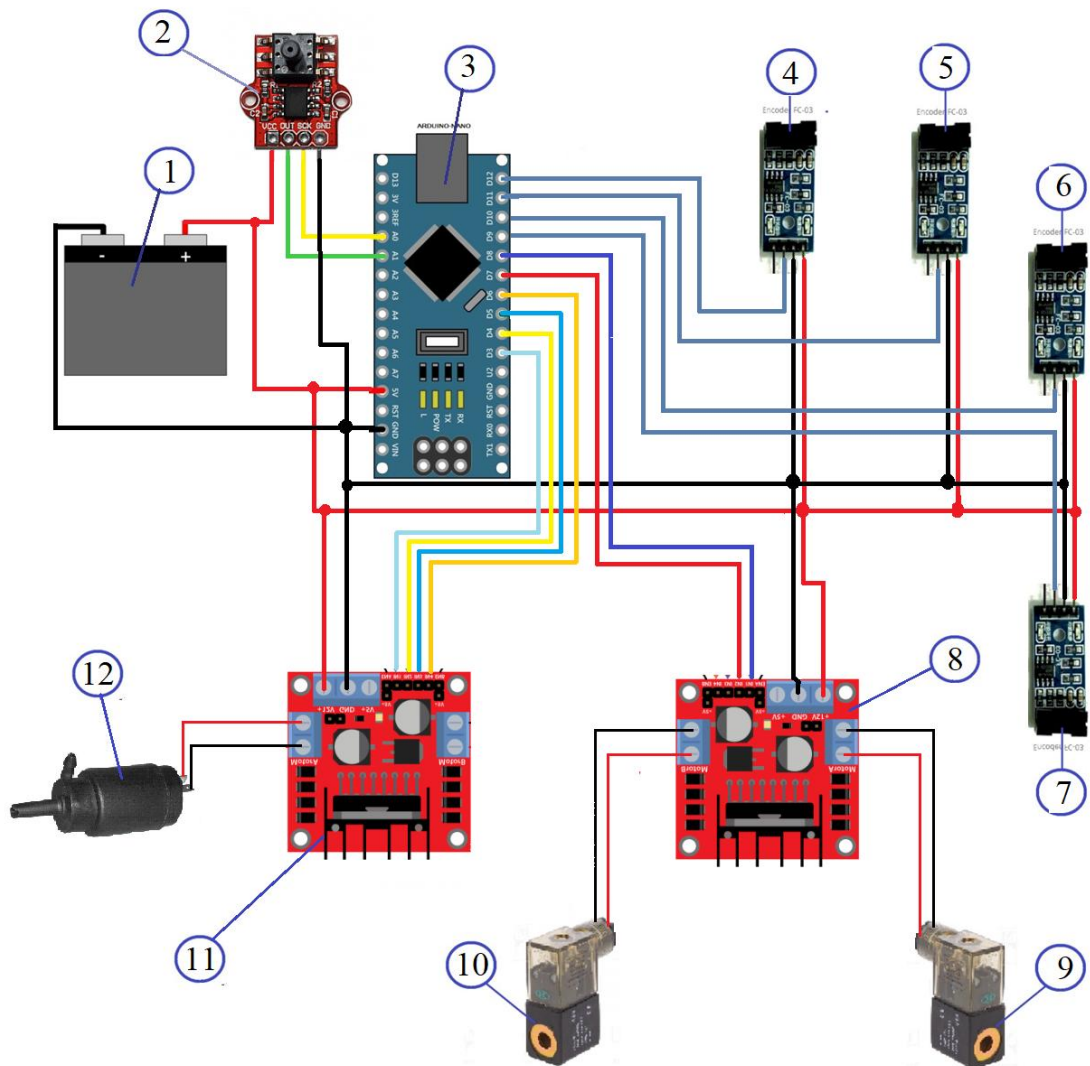


Рис.2.2. Схема мехатронної системи забезпечення та контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки

- 1 – джерело живлення; 2 – датчик контролю тиску рідини в резервуарі;  
 3 – модуль керування «Arduino Nano»; 4 – оптичний датчик контролю концентрації насіння; 5 – оптичний датчик заряджання насіння; 6 – оптичний датчик висіву насіння; 7 - оптичний датчик контролю швидкості сівалки;  
 8 – драйвер керування електро-гідро та електро-пневмо клапаном;  
 9 – електро-гідро клапан; 10 – електро-пневмо клапан; 11 – драйвер керування насосом; 12 - насос



Рідина під надлишковим тиском через відкритий клапан подається до дозуючого пристрою та надсилає насінину в ствол 16 на що зреагує датчик 14 та своїм сигналом припинить роботу гідроклапана 4. Процес заряджання висівного апарату завершено. Висів насіння здійснюється за сигналом датчика частоти обертання опорного колеса згідно якого модуль визначає пройдений шлях та згідно встановленого значення інтервалів висівів насіння формує сигнал на відкривання електро-пневматичного клапана 18. Стиснуте повітря через відкритий клапан виштовхує насінину з рідиною з ствола до насінневого ложе, що свідчить про завершення процесу висіву. Контроль висіву здійснюється за допомогою оптичного датчика 15. Вся інформація про пропуски висівів надходить на інформаційне табло модуля керування мехатронної системи. Модуль мехатронної системи обладнано простим інтерфейсом, що дозволяє встановити конструкційні, режимні та технологічні параметри та накопичувати інформацію про них. Напруга живлення основних компонентів становить 12 В, застосування електроприводів в системі дозволяє автоматизувати контроль та підтримання точності роботи висівного апарата гідросівалки.

### 2.3 Теоретичне обґрунтування конструкційних, режимних та технологічних параметрів мехатронної системи

Проаналізувавши процес роботи мехатронної системи контролю точної роботи висівного апарата гідросівалки встановлено основні параметри системи, які можна розділити на групи:

- конструкційні параметри: концентрація насіння в забірній камері, напруга живлення системи, кількість висівних апаратів;
- режимні параметри: частота висівів, час заряджання, час висіву, час циклу;
- технологічні параметри: тиск в резервуарі з рідиною, швидкість руху гідросівалки, тиск повітря в стволі.

Розглянемо робочий цикл мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки. Під робочим циклом мехатронної системи розуміють сукупність періодичних процесів (заряджання, очікування, висіву), що повторюються в точній послідовності. Графічну інтерпретацію режимів роботи мехатронної системи представлено на рисунку 2.3

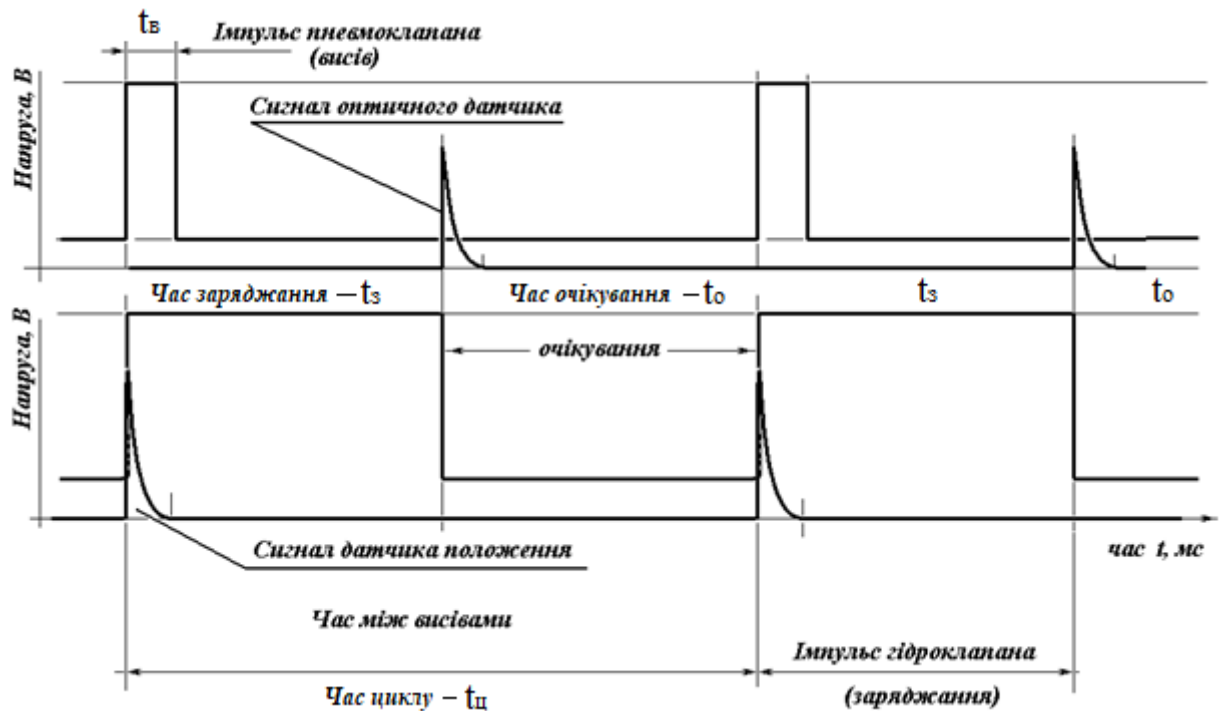


Рис. 2.3. Діаграма робочого циклу мехатронної системи висівного апарата

Час робочого циклу (час між висівами) напряму залежить від відстані між насінинами в рядку та швидкості руху сівалки:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{в}} + t_{\text{з}} + t_{\text{о}} \quad (2.7)$$

де  $t_{\text{ц}}$  – час циклу, с;

$t_{\text{в}}$  – час висіву, с;

$t_{\text{з}}$  – час заряджання висівного апарата, с;

$t_{\text{о}}$  – час очікування, с.

Визначаємо час циклу через відстань між насінинами в рядку та швидкість руху сівалки:

$$t_{\text{ц}} = \frac{L_{\text{г}}}{V_{\text{в}}}, \text{ с} \quad (2.8)$$

де  $L_{\text{г}}$  – відстань між насінинами в рядку, м;

$V_{\text{в}}$  – швидкість руху висівного апарату, м/с.

Час заряджання висівного апарату визначимо :

$$t_3 = \frac{L_0}{V_{\text{н}}}, \text{ с} \quad (2.9)$$

де  $L_0$  – відстань від присмоктуючого отвору до ствола, м;

$V_{\text{н}}$  – швидкість руху насінини в процесі заряджання, м/с.

За результатами попередніх досліджень встановлено, що швидкість руху насінин за тиску рідини в резервуарі 0,15 МПа в середньому становить 1 м/с, тоді час заряджання при відстані  $L_0=0,1$  м становитиме  $t_3=0,1$ с

Час висіву буде залежати від технічних можливостей запірної апаратури в нашому випадку клапана. Провівши пошук клапанів, які пропонують виробники обрано клапан серії SV-F-ES-22-15-AC. Напруга живлення 12В, робочий тиск до 0,8 МПа, час спрацювання  $t_c=0,02$  с. Врахувавши технічні можливості клапана визначаємо час висіву.

$$t_B = t_c + \frac{L_c}{V_{\text{п}}}, \text{ с} \quad (2.10)$$

де  $t_c$  – час спрацювання клапана, с

$L_c$  – довжина ствола, м

$V_{\text{п}}$  – швидкість повітря, м/с

Швидкість повітря визначимо врахувавши робочий тиск наддуву в стволі та переріз ствола [38, 40]:

$$P_{\text{п}} = S_c \cdot V_{\text{п}}, \text{ МПа} \quad (2.11)$$

де  $P_{\text{п}}$  – робочий тиск повітря в стволі, МПа;

$S_c$  – переріз висівного ствола, м;

тоді 
$$V_{\Pi} = \frac{P_{\Pi}}{S_c}, \text{ м/с} \quad (2.12)$$

Приймаємо, що швидкість насіння дорівнює швидкості повітря в стволі враховуючи агрономи [41], критична швидкість руху насіння овочевих культур не повинна перевищувати 15 м/с проведемо розрахунки та представимо результати в вигляді графічних залежностей рис. 2.4 та 2.5.

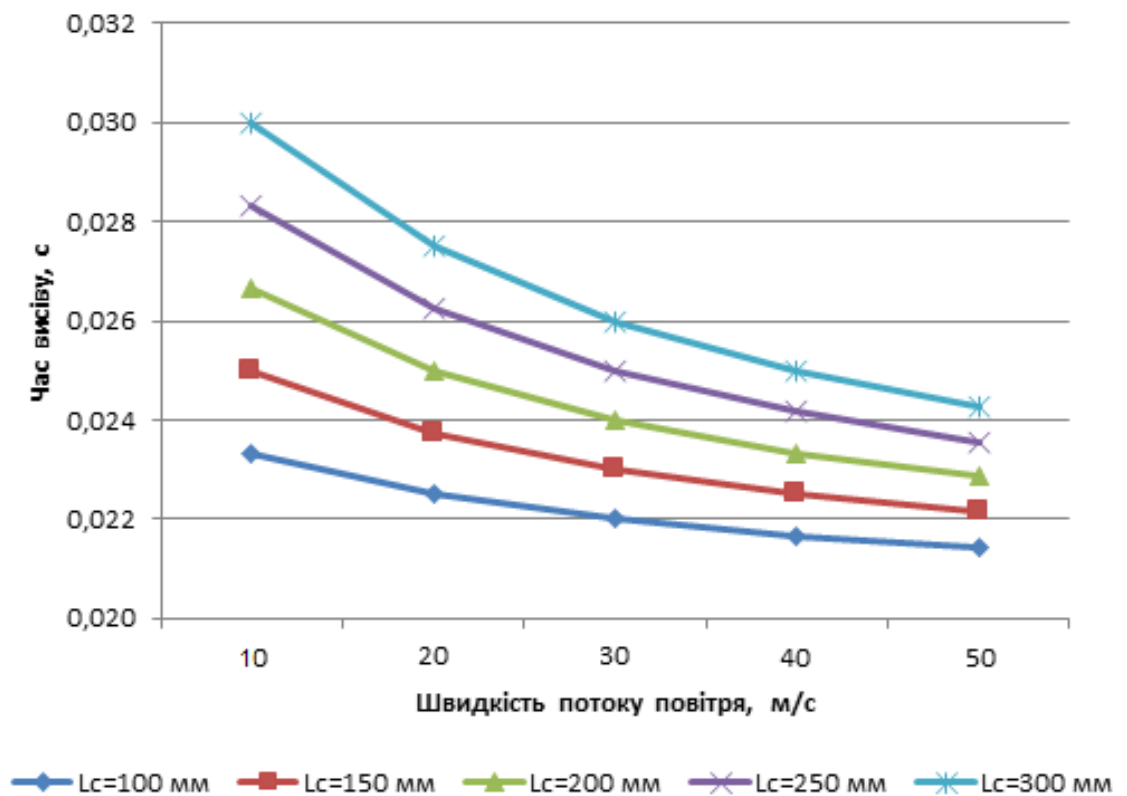


Рис. 2.4. Графік залежності часу висіву  $t_B$  від швидкості повітря  $V_{\Pi}$

З графіка видно, що мінімальний час висіву за критичної швидкості 15 м/с при довжині ствола  $L_c = 100$  мм становить  $t_B = 0,023$  с, при довжині  $L_c = 300$  мм становить  $t_B = 0,029$  с.

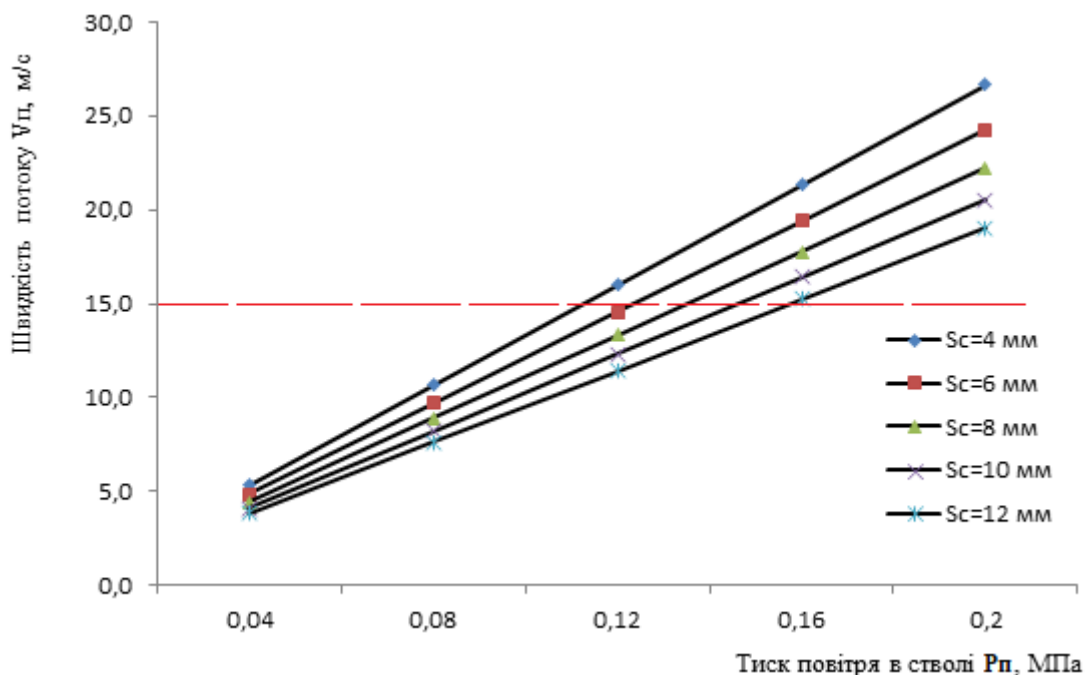


Рис. 2.5. Залежність швидкості потоку  $V_p$  від робочого тиску в стволі  $P_p$

З графіка видно, що критична швидкість при перерізі ствола  $S_c = 8$  мм буде досягнута при тискові  $P_p = 0,135$  МПа, для  $S_c = 10$  мм при  $P_p = 0,16$  МПа.

Величину часу очікування визначимо за рівнянням:

$$t_o = t_u - (t_B + t_3) = \frac{L_2}{V_B} - (t_B + t_3) \quad (2.13)$$

Провівши розрахунки середнє значення робочого циклу становить  $t_u = 0,14$  с. При висіві капусти для вирощування розсадним способом з інтервалом між рослинами 2 см швидкість руху висівного апарату  $V_B$  не повинна перевищувати 0,142 м/с (0,51 км/год) і при відстані між рослинами в рядкові  $L_r = 0,4$  м (40 см, що відповідає оптимальній відстані при висіванні капусти білокачанної, томатів, баклажан та перцю), швидкість руху не повинна перевищувати 2,45 м/с або 8,82 км/год. При цьому частота спрацювання електромагнітного клапана дорівнюватиме  $f_B = 1/t_u = 1/0,14 = 7,14$  Гц. При такій короткій тривалості циклу необхідно злагоджена дія всіх елементів мехатрони системи гідросівалки.

## 2.4 Розробка конструкції дозуючого пристрою мехатронної системи контролю точності роботи гідросівалки

Враховуючи досвід та напрацювання науковців кафедри тракторів і автомобілів Дніпровського аграрно-економічного університету в якості прототипу було обрано розроблений на кафедрі координатний гідропневматичний апарат для гідросівалки конструкцію якого опубліковано раніше [23]. Недоліком даного апарата являється відсутність дозуючого пристрою, який би забезпечив поштучний відбір насіння, що усунув би пропуски насіння та висів двійників. Для вирішення даної проблеми врахувавши особливості конструкції, переваги та недоліки дозуючих пристроїв розглянутих в попередньому розділі розроблено конструктивну схему дозуючого пристрою наведену на рисунку 2.6. При проектуванні дозуючого пристрою враховувалися переваги застосування пневматичних та гідравлічних систем в конструкції дозуючих пристроїв висівних апаратів та враховано положення гідравліки та пневматики [39, 40].

Дозуючий пристрій складається з забірної камери 1, що розташовується в нижній частині резервуара для насіння та рідини 3, насіння потрапляє в забірну камеру за рахунок гравітації, яка на нього діє. В нижню частину камери монтовано циркуляційний насос 9. За допомогою потоку, що створює насос відбувається підйом насіння. Це відбувається за рахунок з'єднання всмоктуючої магістралі насоса з об'ємом резервуара через канал 8 та фільтр 4, який призначений для запобігання потрапляння насіння та часток до насосу. Далі нагнітаюча магістраль циркуляційного насоса зеднана з забірною камерою в найнижчій точці. Встановлена ґратка 11 захищає нагнітаючу магістраль від потрапляння насіння та інших часток. В центральній частині камери розміщується канал, що з'єднує забірну камеру з насіннепроводом 2. В зоні розміщення входу в насіннепровід з протилежного боку встановлено ежектор-присоску 10, що з'єднує забірну камеру з трубкою розрідження 8 для

захоплення та утримування насіння. На осі розміщення ежектора 10 знаходиться трубка подачі рідини 5, яка періодично з'єднується з магістраллю 6 подачі рідини з резервуара через електро-гідролічний клапан 7.

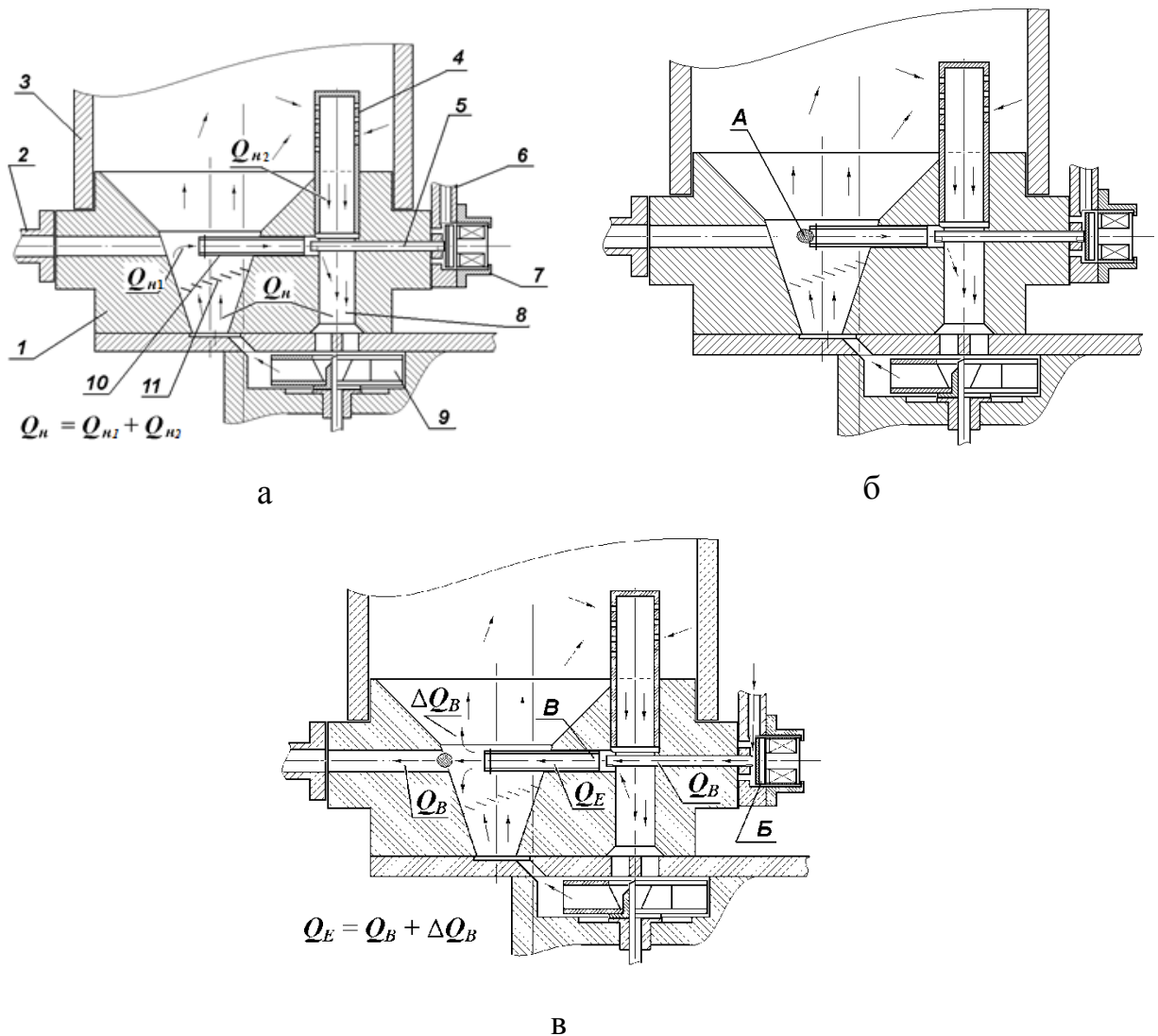


Рис. 2.6 Схема режимів роботи дозуючого пристрою:

а – створення циркуляції рідини; б – захоплення насінини; в – подача насінини до насіннепроводу; 1 – забірна камера; 2 – насіннепровід; 3 – бак; 4 – фільтр; 5 – трубка подачі рідини; 6 – магістраль подачі рідини; 7 – електро-гідро клапан; 8 – всмоктувальний канал; 9 – насос; 10 – ежектор-присоска;

Розглянемо режими роботи дозуючого пристрою. За умови закритого стану гідроклапана 7 (рис. 2.6, а) за допомогою насоса 9 створює циркуляція робочої рідини, з бака 3 рідина проходить через фільтр 4 і через насос потрапляє в забірну камеру 1 з витратою  $Q_n$ . Завдяки опору що створює фільтр 4

підтягується рідина паралельно через ежектор-присоску 10 відповідно з витратою  $Q_{n1}$ , витрату рідини через фільтр  $Q_{n2}$  визначимо згідно балансу витрат:

$$Q_n = Q_{n1} + Q_{n2} \quad (2.14)$$

Потоком рідини через ежектор-присоску 10 відбувається захоплення та утримання насінини  $A$  (рис. 2.6, б) .

Відкривання електрогідравлічного клапана 7 створює потік рідини через трубку 5 рідина надходить до камери  $B$  (рис. 2.6, в) з витратою  $Q_B$ . Цей потік проходить через з всмоктувальний канал 8 виштовхує насінину  $A$  з ежектора-присоски 10 і через забірну камеру 1 подає її далі по насіннепроводу 2 до датчика заряджання ствола (на малюнку не вказано). Кінець трубки подачі 5 і початок всмоктувального каналу 8 розташовані з зазором в камері  $B$ , що викликає підсмоктування рідини через канал 8 у ежектор-присоску 10, з витратою  $Q_E$ , яка перевищує подачу  $Q_B$ :

$$Q_E = Q_B + \Delta Q_B, \quad (2.15)$$

## 2.5 Теоретичне обґрунтування конструкційних та технологічних параметрів дозуючого пристрою мехатронної системи

З метою встановлення впливу форми забірної камери дозуючого пристрою було проведено експериментальні дослідження, які мають теоретичне обґрунтування.

Процес однонасінневого дозування ґрунтується на відборі насіння з забірної камери де формується псевдозріджений шар з необхідною концентрацією. Теоретичні основи формування псевдозрідженого шару добре розкрито в теорії збагачення викопних матеріалів гравітаційним методом. [42].

Головною умовою існування псевдозрідженого шару являється підтримання насіння потоком рідини в першій та другій критичних швидкостей висхідного потоку рідини рис 2.7.



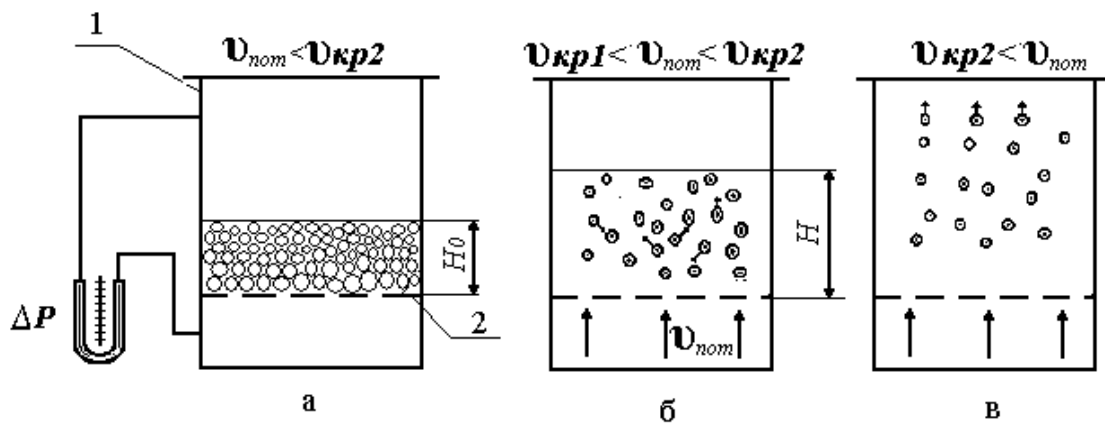


Рис. 2.7. Зміна структури ПЗШ залежно від швидкості потоку рідини :

- а) – нерухомий шар; б) – псевдозріджений шар; в) – винесення насіння за межі забірної камери

Швидкість висхідного потоку рідини  $v_{nom}$ :

$$v_{nom} = \frac{Q_p}{S}, \quad (2.16)$$

де  $Q_p$  – об'ємна витрата потоку рідини, м<sup>3</sup>/с;

$S$  – площа поперечного перерізу циліндра, м<sup>2</sup>.

При зниженні швидкості потоку нижче першої критичної  $v_{kp1}$  шар з насіння висотою  $H_0$  залишається не рухомим і відбувається режим фільтрації (рис. 2.7, а).

За першої критичної швидкості потоку  $v_{kp1}$  насіння переходить з режиму фільтрації в режим псевдозрідження (рис. 2.7, б). Висота шару збільшується ( $H > H_0$ ). Розширення шару (рис. 2.7, в) триватиме до досягнення другої критичної швидкості потоку рідини  $v_{kp2}$  після чого шар руйнується і відбувається винесення насіння за межі камери псевдозрідження.

Розширення шару характеризується таким параметром, як порозність  $\varepsilon$ , яку визначимо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{V_{II}}{V_{III}} = \frac{(V_{III} - V_H)}{V_{III}} = 1 - \frac{V_H}{V_{III}}, \quad (2.17)$$

де  $V_H$  – об'єм насіння в шарі, м<sup>3</sup>;

$V_{III} = S \cdot H$  – об'єм шару, м<sup>3</sup>;

$H$  – висота шару, м.

Простими експериментами встановлено, що порозність нерухомого шару  $\varepsilon_0$  насіння різної розмірної групи овочевих культур становить близько 0,4.

Розглянемо як форма забірної камери впливає на зміну швидкості потоку рідини по її об'єму.

За умови ламінарного потоку на вході в забірну камеру частинка рідини  $O_p$  повинна розподілятися по сферичній поверхні за умовою графічно представленою на рисунку 2.8 швидкість якої  $v$  визначимо за рівнянням:

$$v = v_0 \frac{S_0}{S_c} = v_0 \cdot \left( \frac{d_{ex}}{r} \right)^2 / 8 \quad (2.18)$$

де  $S_0$  – площа вхідного отвору, мм<sup>2</sup>;

$d_{ex}$  – отвору діаметром, мм;

$r$  – радіус сферичної поверхні, мм;

$v_0$  – швидкість рідини на вході, м/с.

Площу вхідного отвору визначимо враховуючи геометричні розміри елементів забірної камери за рівнянням

$$S_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2.19)$$

Площу сферичної поверхні рідини радіусом  $r$  визначимо за формулою:

$$S_c = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (2.20)$$

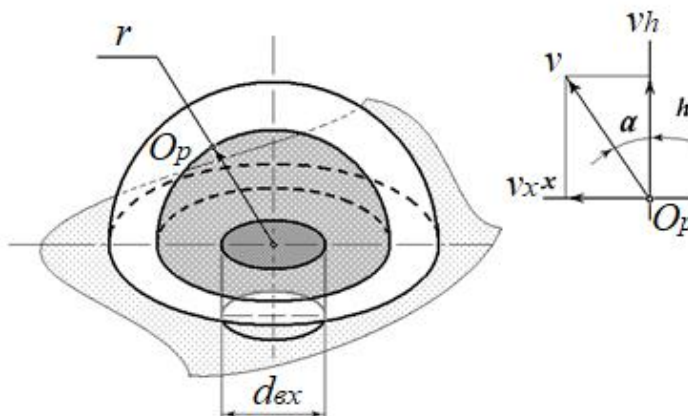


Рис. 2.8. Схема витoku рідини у забірну камеру

У формуванні псевдозрідженого шару, приймає лише вертикальна складова  $v_h$  значення якої визначимо за рівнянням:

$$v_h = v \cdot \cos\alpha = v \cdot \frac{h}{r}. \quad (2.21)$$

З урахуванням (2.18) остаточно можна записати

$$v_h = v_0 \cdot \left( \frac{d_{ex}^2 h}{r^3} \right) / 8. \quad (2.22)$$

За умови  $h < r$ , зі збільшенням висоти  $h$  швидкість потоку рідини буде зменшуватися відносно початкової швидкості  $v_0$ .

Для неідеального потоку витік рідини у забірну камеру матиме вигляд струменя, параметри якого залежатимуть від початкової швидкості, в'язкості та густини рідини. Приклад такого витоку представлено на рисунку 2.9, а.

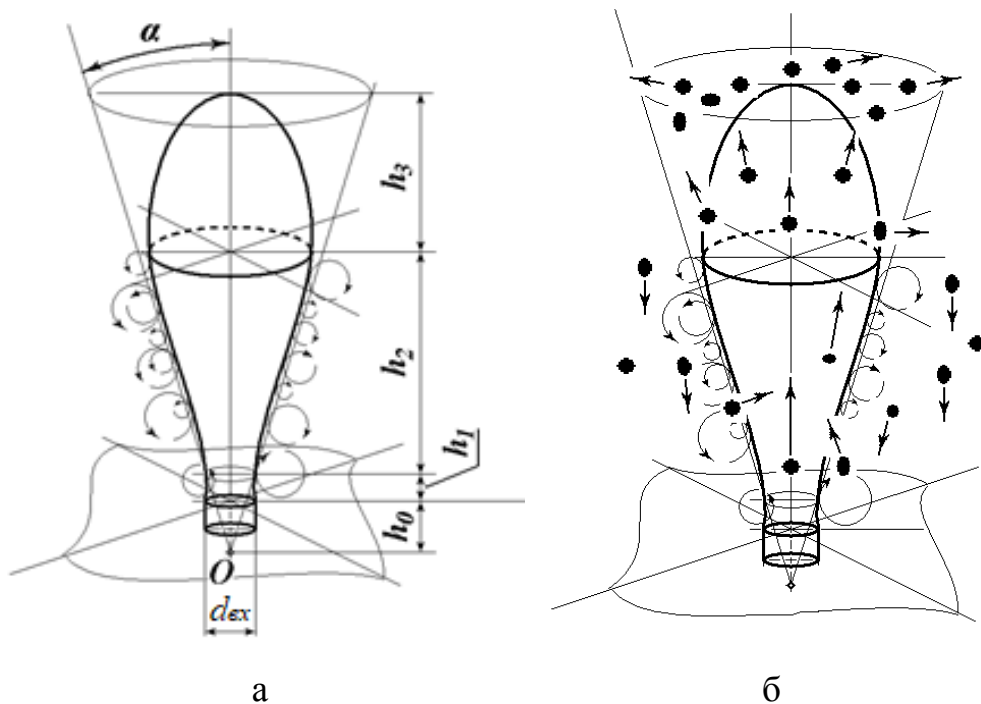


Рис. 2.9. Схема не ідеального витоку рідини у простір забірної камери (а) та рух частинок у зоні струменя (б)

Підчас витоку струмінь постійно взаємодіє з частками, що розташовуються за межами струменя. На ділянці  $h_1$  струмінь стискається, що призводить до підтягування рідини з зовнішнього простору і залученням її до

течії. Спостерігається зменшення швидкості струменя при одночасному зростанні часток залучених в рух.

На ділянці  $h_2$  відбувається втрата кінетичної енергії рідини, кількість часток залучених до руху зростає, що зумовлює розширення струменя. Спостерігається інтенсивне турбулентне вихроутворення. Струмінь матиме конічну поверхню з кутом  $\alpha$ , вершина конічної поверхні  $O$  розташовується нижче вхідного отвору на відстані  $h_0$ .

На ділянці  $h_3$  спостерігається ламінарний режим течії з деякими залишковими турбулентними вихорами.

В зв'язку з появою турбулентних вихорів насіння, здійснює хаотичний рух (рис. 2.9, б) між рівнями  $h_2$  та  $h_3$ . Зі збільшенням висоти концентрація насіння зростає і вище рівня  $h_3$ , сягає порозності 0,4 режим фільтрації.

В якості експериментальної обираємо конічну форму забірної камери дозуючого пристрою мехатронної системи (рис. 2.10), що забезпечить рівномірний розподіл швидкості по її висоті та формування псевдозрідженого шару насіння з різними механіко-технологічними властивостями

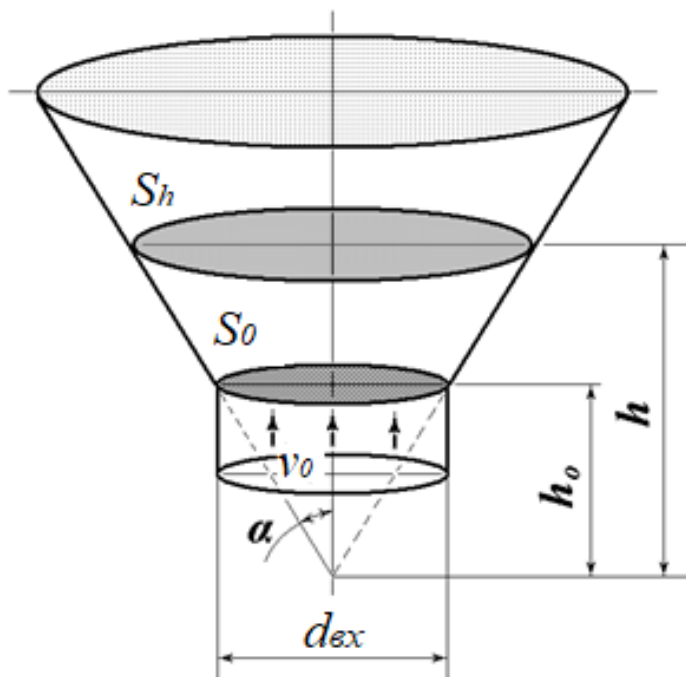


Рис. 2.10. Схема забірної камери дозуючого пристрою

Площу довільного перерізу на висоті  $h$  визначимо за формулою:

$$S_h = \frac{\pi \cdot d_h^2}{4}, \text{ мм}^2 \quad (2.23)$$

де  $d_h$  – діаметр перерізу на висоті  $h$ , мм.

Враховуючи, що  $\frac{d_h}{d} = \frac{h}{h_o}$

де  $h_o$  – відстань від вхідного отвору до вершини конічної поверхні, мм:

$$h_o = \frac{d_{ex}}{2 \cdot \text{tg} \alpha}, \text{ мм} \quad (2.24)$$

Тоді

$$S_h = \frac{\pi(2 \cdot h \cdot \text{tg} \alpha)^2}{4}, \text{ мм}^2 \quad (2.25)$$

За умови сталої швидкості потоку на вході  $v_0$ , середню швидкість потоку рідини  $v_h$  визначимо за залежністю:

$$v_h = v_0 \cdot \frac{S_o}{S_h} = v_0 \cdot \left( \frac{h_o}{h} \right)^2, \text{ м/с} \quad (2.26)$$

Визначимо параметри підтримання псевдозрідженого шару насіння а саме встановимо першу та другу критичні швидкості  $v_{kp1}$ ,  $v_{kp2}$  скориставшись за рівняннями О. Тодеса [42]:

$$v_{kp1} = \frac{A_r \cdot \mu_l}{d_n \cdot \rho_p \cdot (1400 + 5,22\sqrt{A_r})}, \text{ м/с} \quad (2.27)$$

$$v_{kp2} = \frac{A_r \cdot \mu_l}{d_n \cdot \rho_p \cdot (18 + 0,61\sqrt{A_r})}, \text{ м/с} \quad (2.28)$$

де  $A_r$  – критерій Архімеда;

$\mu_l$  – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини Па·с;

$\rho_n$  – щільність насіння, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\rho_p$  – щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>;

Критерій Архімеда визначимо за формулою:

$$A_r = \frac{d_n^3 \cdot \rho_p \cdot (\rho_n - \rho_p) \cdot g}{\mu_l^2}, \quad (2.29)$$

Проміжне значення швидкості визначимо за рівнянням:

$$v_{кр} = \frac{A_r \cdot \mu_l \cdot \varepsilon^{4,75}}{d_n \cdot \rho_p \cdot (18 + 0,61\sqrt{A_r \cdot \varepsilon^{4,75}})}, \quad \text{м/с} \quad (2.30)$$

Скориставшись рівнянням 2.30 визначимо порозність  $\varepsilon$  насіння в псевдозрідженому шарі:

$$\varepsilon = \left( \frac{18 \cdot \left( \frac{v_{кр} \cdot d_n \cdot \rho_p}{\mu_l} \right) + 0,36 \cdot \left( \frac{v_{кр} \cdot d_n \cdot \rho_p}{\mu_l} \right)^2}{A_r} \right)^{0,21}. \quad (2.31)$$

Результати розрахунків умов формування псевдозрідженого шару представимо на рисунку 2.11 та 2.12.

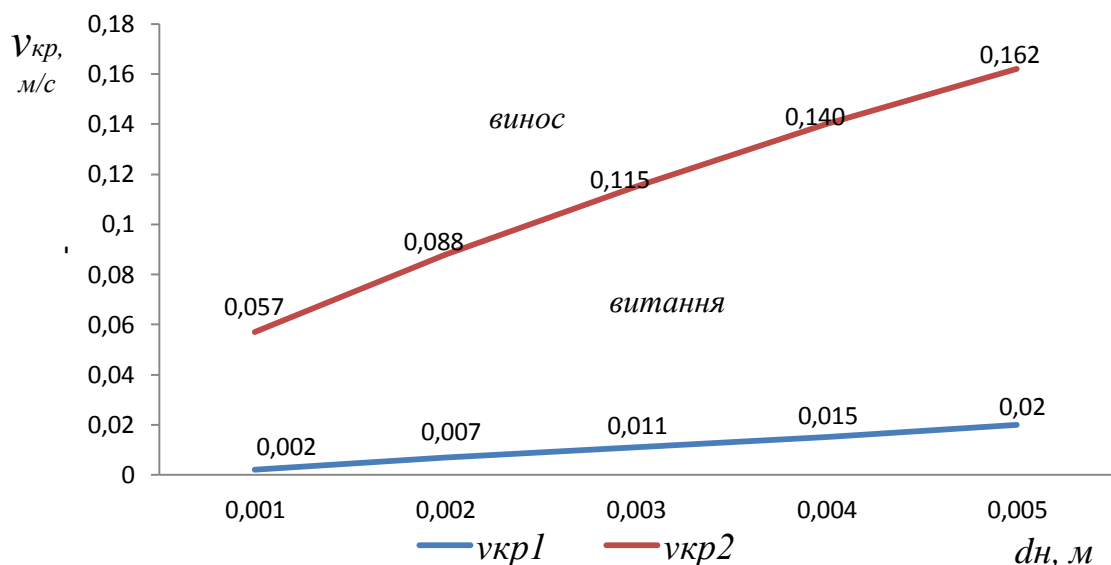


Рис. 2.11. Критичні швидкості формування псевдозрідженого шару  $v_{кр1}$  та  $v_{кр2}$

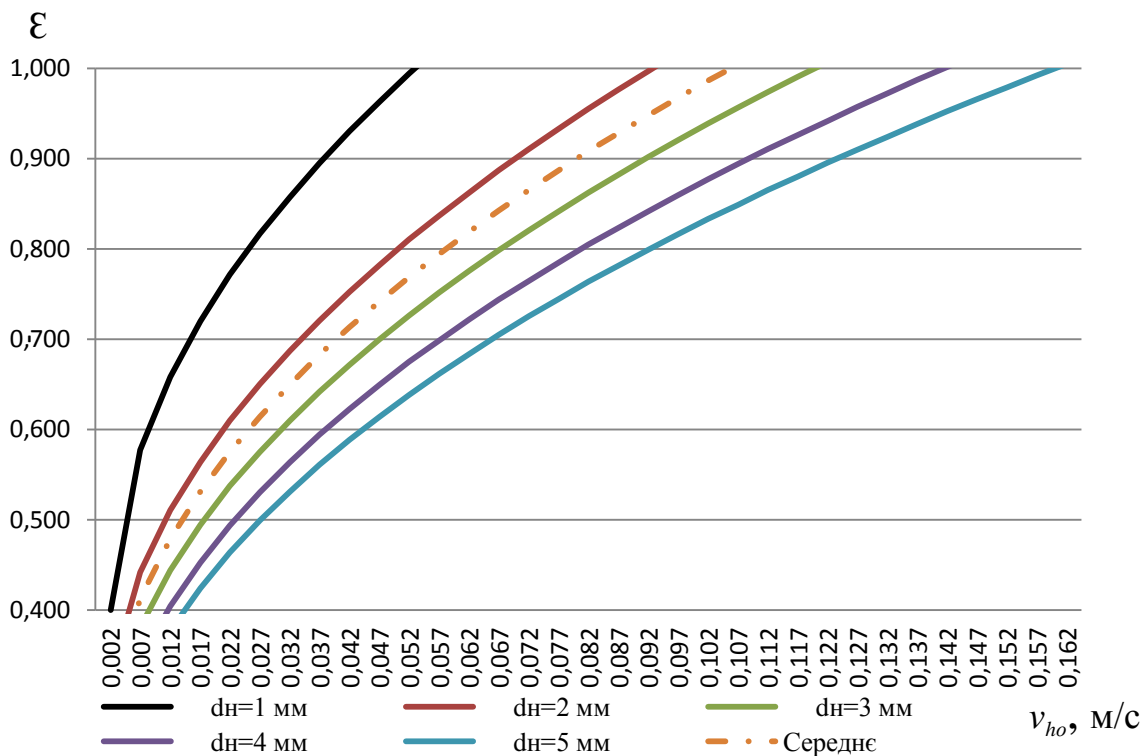


Рис. 2.12. Вплив швидкості потоку на порозність насіння

Згідно теоретичних досліджень [14] концентрацію насіння в псевдозрідженому шарі можна визначити за формулою:

$$k_n = \frac{n_1}{V_{III}} = \left( \frac{(1 - \epsilon) \cdot V_{III}}{\pi \cdot (d_n)^3 / 6} \right) / V_{III} = \frac{(1 - \epsilon)}{\pi \cdot (d_n)^3 / 6}, \text{ шт/м}^3 \quad (2.32)$$

За результатами проведених розрахунків встановлено, формування псевдозрідженого шару відбувається за підтримання швидкості потоку в забірній камері в межах від 0,001 до 0,162 м/с, що залежатиме від розмірів насіння, концентрація насіння при цьому знаходитиметься в межах 0,2...0,6 1/мл.

Запропонований спосіб формування необхідної концентрації насіння дозволяє відмовитися від енергоємних мішалок для перемішування всього об'єму в бакові з рідиною і насінням. Достатньо локально його підтримувати в зоні розміщення ежектора-присоски 10, що дозволяє зменшити потужність на привід насоса.

Проведемо визначення основних конструктивних розмірів дозуючого пристрою мехатронної системи гідросівалки.

Для захоплення однієї насінини з потоку на одній осі з ежектором-присоскою розміщується насіннепровід  $S$  (рис. 2.13) який має вигляд трубки з внутрішнім діаметром  $d_s$ , розмір якого визначимо за умовою:

$$d_s = (1,3 \dots 1,5) \cdot d_{nc} \quad (2.33)$$

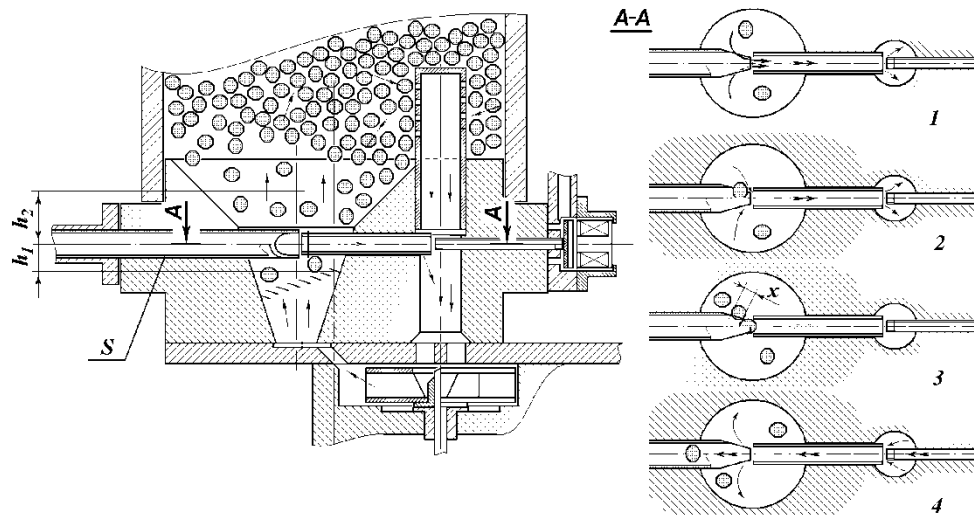


Рис. 2.13 Забір і подача насіння дозуючим пристроєм

Для уникнення закупорювання насіннепроводу відстань  $h_1$  між ґраткою та ежектором-присоскою повинна становити:

$$h_1 = 2 \cdot d_{nc}, \text{ мм} \quad (2.34)$$

З метою підтримання встановленої концентрації насіння в зоні відбору оптичний датчик повинен розміщуватися на висоті  $h_2$ :

$$h_2 = 3 \cdot d_{nc}, \text{ мм} \quad (2.35)$$

Виходячи з цього висота забірної камери становитиме:

$$h_{зк} = h_1 + h_2 \geq 5 \cdot d_{nc}, \text{ мм} \quad (2.36)$$

Діаметр забірної камери в верхній частині визначимо за формулою:

$$d_{зк} = 10 \cdot d_{nc}, \text{ мм} \quad (2.37)$$



З врахуванням різних розмірних груп насіння конструкція дозуючого пристрою повинна мати деяку універсальність стосовно заміни основних елементів, їх кріплення повинно забезпечувати швидке переналагоджування дозуючого пристрою на різні види культур.

## 2.6 Висновки

1. За результатами теоретичних досліджень розроблено конструктивну схему та конструкцію мехатронної системи та дозуючого пристрою для контролю точної роботи висівного апарату гідросівалки.

2. Визначено конструкційні, технологічні та режимні параметри мехатронної системи та дозуючого пристрою .

3. Теоретичними дослідженнями встановлено режимні параметри мехатронної системи, а саме час заряду, час висіву та загальний час робочого циклу, що в середньому становить  $0,13 \dots 0,145$  с, що забезпечує роботу гідравлічної сівалки на швидкості  $V_B = 0,51$  км/год при висіві насіння з інтервалом 2 см та  $V_B = 8,82$  км/год, при висіві з інтервалом між насінинами 40 см. При цьому частота спрацювання електро-пневматичного клапана (частота висівів) дорівнюватиме  $f_B = 7,14$  Гц.

4. Теоретичними дослідженнями встановлено конструкційні розміри елементів дозуючого пристрою в залежності від розмірів насіння та форму забірної камери. Встановлено, що формування псевдозрідженого шару відбувається в межах значення критичних швидкостей від 0,001 до 0,162 м/с, що залежатиме від розмірів насіння, концентрація насіння при цьому знаходитиметься в межах  $0,2 \dots 0,6$  1/мл.

5. Враховуючи агрономічні швидкості висіву насіння встановлено максимальне значення робочого тиску повітря, яке повинно знаходитися в межах  $P_{II} = 0,135 \dots 0,16$  МПа.

## 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1 Програма та методика досліджень

Програму та методику експериментальних досліджень розробляємо згідно положень, що стосуються сільськогосподарської техніки, а саме ДСТУ ISO 7256-1:2005. «Обладнання для сівби. Методи випробування. Частина 1. Сівалки одно-насінневі (сівалки точного висіву)», СОУ 74.3-37-129:2004 «Випробування сільськогосподарської техніки. Методи випробувань».

Врахувавши поставлені завдання до роботи в програму досліджень включено такі питання:

- визначення конструкційних та технологічних параметрів дозуючого пристрою мехатронної системи;
- визначення параметрів роботи електро-гідро клапана;
- дослідження впливу конструкційних режимних та технологічних параметрів мехатронної системи на якісні показники роботи гідросівалки.

При проведенні експериментальних досліджень розробленої мехатронної системи та дозуючого пристрою використовувалися методики наукових досліджень Горячкіна В. П., Надикта В.Т., Веденяпина Г.В. та ін. [43, 44].

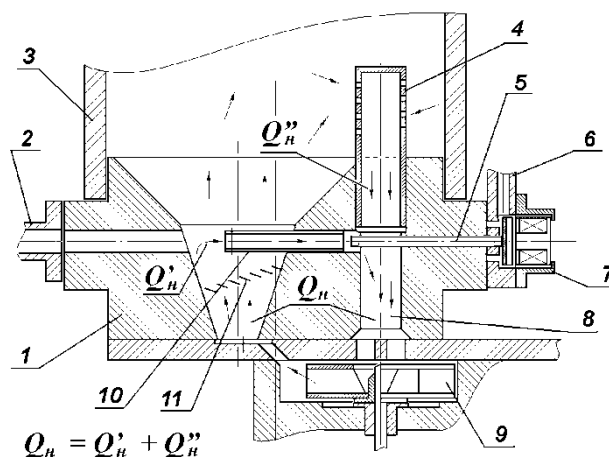
### 3.2 Об'єкт досліджень

Об'єктом дослідження являється технологічний процес точного висіву насіння гідросівалкою. Лабораторну установку висівного апарата гідросівалки наведено на рисунку 3.1. Зразок для польових випробувань наведено на рис. 3.2 Для реалізації точного висіву гідросівалкою розроблено мехатронну систему контролю точності роботи висівного апарата гідросівалки. До елементів контролю робочого циклу висівного апарата відносяться датчики: тиску рідини

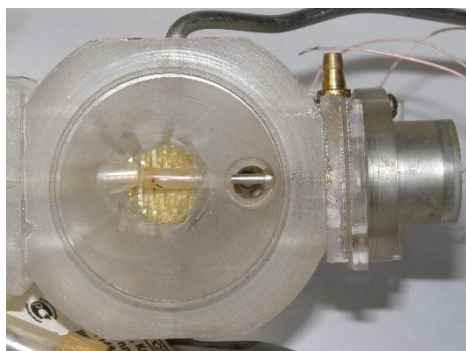
в резервуарі, концентрації насіння, заряджання ствола, висіву насіння, переміщення сівалки. Виконавчими пристроями мехатронної системи являються: насос, гідро та пневмо клапани характеристики яких наведено в таблиці 3.1.



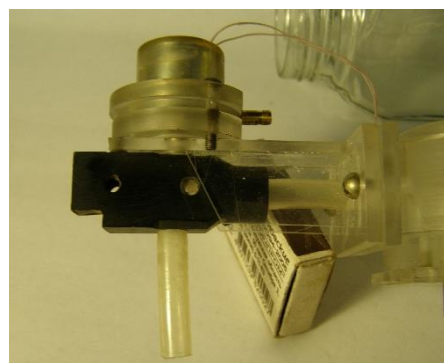
а



б



в



г

Рис. 3.1 Лабораторна установка висівного апарата гідравлічної сівалки:  
 а – загальний вигляд висівного апарата; б – конструктивна схема дозуючого пристрою мехатронної системи; в загальний вигляд дозуючого пристрою;  
 г – висівна частина мехатронної системи (гідроклапан, датчик заряду ствола)



Рис. 3.2. Експериментальна гідросівалка з мехатронною системою контролю та керування роботи  
- інтервали між висіяним насінням см.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика основних компонентів мехатронної системи

Параметри	Назва компоненту			
	Гідро, пневмо клапан	Оптичні датчики	Модуль	Насос
Марка	SV-F-ES-22-15-AC.	ITR9608. LM393	Arduino Nano	2110-5208009
Робоче середовище	газ, рідина	газ	газ	Рідина
Напруга живлення електрклапана, В	12	3-5	7-12	0-12
Робочий тиск, МПа	0-0,8	0-0,12	0-0,12	0-0,1
Швидкодія, мс	5	-	-	-
Витрата, л/хв	20	-	-	1

Розроблена мехатронна система забезпечує:

- контроль та керування всіма технологічними процесами висівного апарату (підтримання заданої концентрації, відбір насіння з псевдозрідженого шару, заряд насіння для висіву, висів насіння)
- забезпечує можливість зміни та реєстрації конструкційних, режимних та технологічних параметрів;
- контроль точної роботи висівного апарата;

реєстрацію:

- дати і часу виконання робіт на полі;
- засіяної площі, га;
- швидкість посіву (км/год);
- норма висіву, шт/м.п.;
- кількість пропусків, %;
- норму висіву, тис/га.

### 3.3 Дослідження конструктивних та технологічних параметрів дозуючого пристрою

Дослідження роботи дозуючого пристрою виконали згідно стандартної методики за схемою, представленою на рисунку 3.3. Під час дослідження ежектор-присоску занурювали у мірний стакан. На вхід ежектора організовано подачу рідини під надлишковим тиском від централізованого водогону. За допомогою манометра виконувався контроль тиску на вході в трубку 3. Зміну тиску виконували дроселюванням за допомогою запірної арматури водогону.

Використавши об'ємний метод визначали витрату води  $Q_B$  через ежектор-присоску. Сутність даного способу полягає в заповненні мірного об'єму  $V_m$  за одиницю часу  $t_{доc}$  (рис.3.3, б), підвищення рівня води від нижньої до верхньої мітки:

$$Q_B = V_m / t_{доc} \quad (3.1)$$

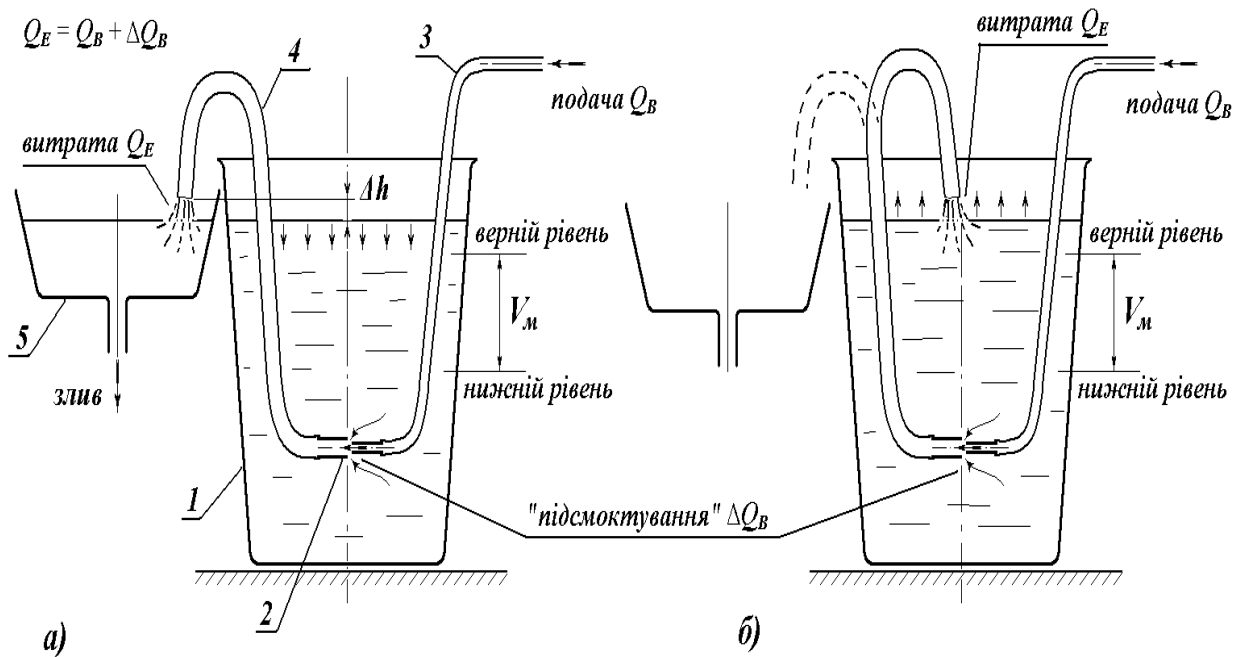


Рис. 3.3. Дослідження дозуючого пристрою мехатронної системи:  
 а – злив ; б – наповнення мірного стакану; 1 – мірний стакан; 2 – ежектор-присоска; 3 – трубка подачі; 4 – трубка зливу; 5 – ємність для зливу

Різниця між витратою через трубку 4 для зливу  $Q_E$  та витратою через трубку 3 подачі  $Q_B$  через трубку для подачі дорівнюватиме витраті на підсмоктуванні рідини  $\Delta Q_B$ :

$$\Delta Q_B = Q_E - Q_B \quad (3.2)$$

Витрату рідини через зливну трубку  $Q_E$  визначали через час  $t_c$  витікання мірного об'єму  $V_m$  (рис.3.3, а), при цьому рівень рідини знижувався від верхньої до нижньої мітки:

$$Q_E = V_m / t_c \quad (3.3)$$

Для усунення ефекту сифона повинна виконуватися умова  $\Delta h \geq 0$ . Тобто кінець трубки для зливу повинен постійно знаходитися вище рівня води у мірному стакані:

За результатами досліджень ежектора-присоски діаметром 3,5 мм дозуючого пристрою встановлено що, за тиску рідини 0,12...0,2 МПа на вході в трубку подачі рідини діаметром 1,6 мм, відношення  $Q_E / Q_B$  становить 1,8...2,2. Отже ефект ежекції підтримується, що дозволить забезпечити надійний однонасінневий відбір та послідує одонасіннєве дозування насінини до ствола висівної частини мехатронної системи висівного апарату.

Дослідження проведені на лабораторній установці висівного апарату з дозуючим пристроєм рис. 3.1 показали, що необхідна електрична потужність приводу насоса зменшується практично в два рази у порівнянні з висівним апаратом без дозуючого пристрою з 5...8 Вт до 3,6 Вт.

#### 3.4 Дослідження роботи електро-гідро клапана

Процес заряджання насіння рис. 2.1 здійснюється за рахунок рідини що надходить від резервуару 8 через електро-гідрравлічний клапан 4. Подача рідини електро-гідро клапаном здійснюється за сигналами ми, що надходять з модуля керування 11 мехатронної системи. Для встановлення технічних характеристик поведемо дослідження гідроклапана серії SV-F-ES-22-12-DC (рис. 3.4) параметри якого наведено в таблиці 3.2.



Рисунок 3.4 – Електроклапан SV-F-ES-22-15-DC

Таблиця 3.2 – Технічна характеристика електро-гідро клапана

Параметри	Одиниці вимірювання	Значення
Робоче середовище	-	газ, рідина
Напруга живлення електроклапана	В	12-15
Робочий тиск	МПа	0-0,8
Швидкодія відкриття клапана	мс	5
Тривалість імпульсу відкриття клапана під час досліджень	мс	15-35
Тиск наддуву повітря	Атм.	1-3

Методика проведення дослідів. За допомогою редуктора встановленого в верхній частині резервуара для рідини встановлюємо робочий тиск  $P_p$ . Використовуючи модуль керування мехатронної системи встановлювали період відкриття клапана та проливали 50 мл рідини фіксуючи час досліду  $T_d$  та кількість циклів  $n_{\text{ц}}$  відкриття клапана. Робочі параметри електро-гідро клапана наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Робочі параметри електро-гідро клапана

Параметри	Значення	Крок
Тривалість імпульсу, мс	20-80	10
Тиск в резервуарі для рідини, МПа.	0-0,35	0,05



Розрахункові параметри.

Циклова подача:

$$q_u = \frac{50}{n_u}, \text{ мл/цикл}, \quad (3.4)$$

Скважність імпульсів:

$$Q = \frac{\tau_{\text{имп}}}{10 \cdot \frac{T_o}{n_u}}, \% \quad (3.5)$$

Витрата рідини

$$Q_m = \frac{180}{T_o}, \text{ л/ГОД} \quad (3.6)$$

Частота спрацювання клапана

$$f_s = \frac{n_u}{T_o}, \text{ Гц.} \quad (3.7)$$

За результатами проведених досліджень отримано графічну залежність наведену на рисункові 3.5.

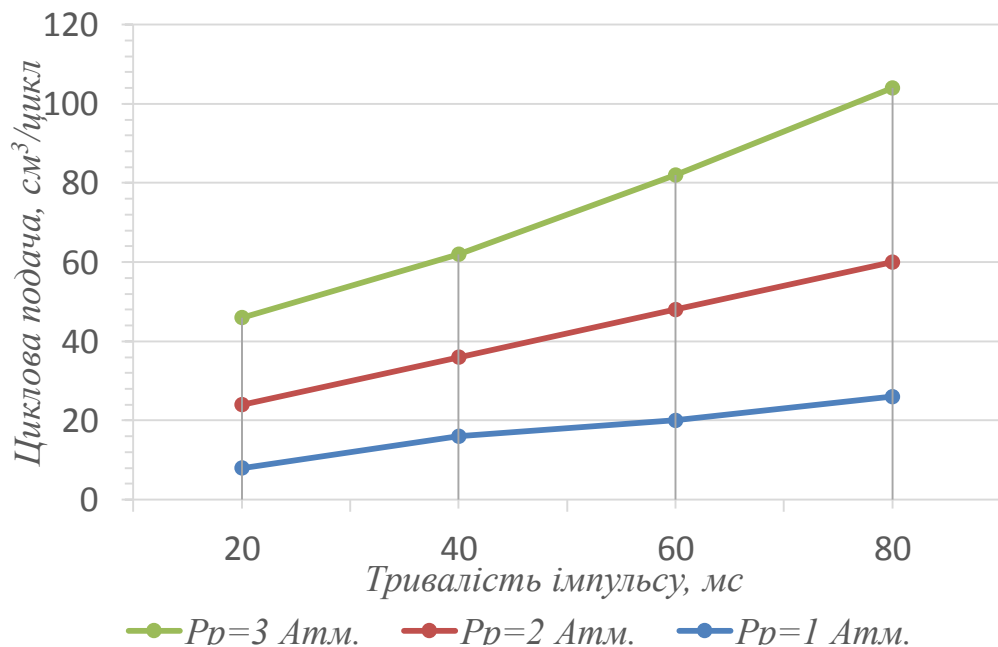


Рис. 3.5. Залежність циклової подачі рідини від тривалості імпульсу відкриття електро-гідро клапана

Відсутність завалів характеристики свідчить про добру роботу електро-гідроклапана клапана на високих частотах до 20 Гц при тривалості імпульсу відкриття електро-гідро клапана 80 мс. Це підтверджує достатню продуктивність гідроклапана.

### 3.5 Дослідження мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату

Для дослідження роботи мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату розроблено лабораторний стенд (рис 3.6.) Стен дозволяє задавати різні режими роботи мехатронної системи та визначити їх вплив на точність роботи висівного апарата.

Обертаючись диск з комітками 1 імітує нескінчений рядок. Висів в насіння- уловлювач 12 комірок здійснюється за висівними мітками 3, на які реагує датчик переміщення 11. Сигнал з датчика надходить на модуль керування 9, який формує сигнал на відкривання пневмоклапана для виштовхування насіння стиснутим повітрям до насінне-уловлювача.

Змінюючи напругу живлення електропривод диска 1 дозволяє встановлювати різну частоту обертання від 1 до  $80 \text{ c}^{-1}$ , що дозволяє забезпечити частоту висівів 0,2...16 Гц.

Робота стенда розпочинається з встановлення необхідних режимних параметрів: кількості висівів, частоти висівів, тиску в резервуарі для рідини 13 концентрації насіння в забірній камері. Досліди проводимо з трикратною повторністю з встановленням середнього значення. За один дослід встановлюємо 500 висівів. Дослідження проводимо з використанням насіння капусти.

Оцінку якості роботи мехатронної системи контролю та керування висівного апарата проводимо, проводимо порівнянням встановленої кількості висівів насінин із дійсним число насіння, що висіяли.

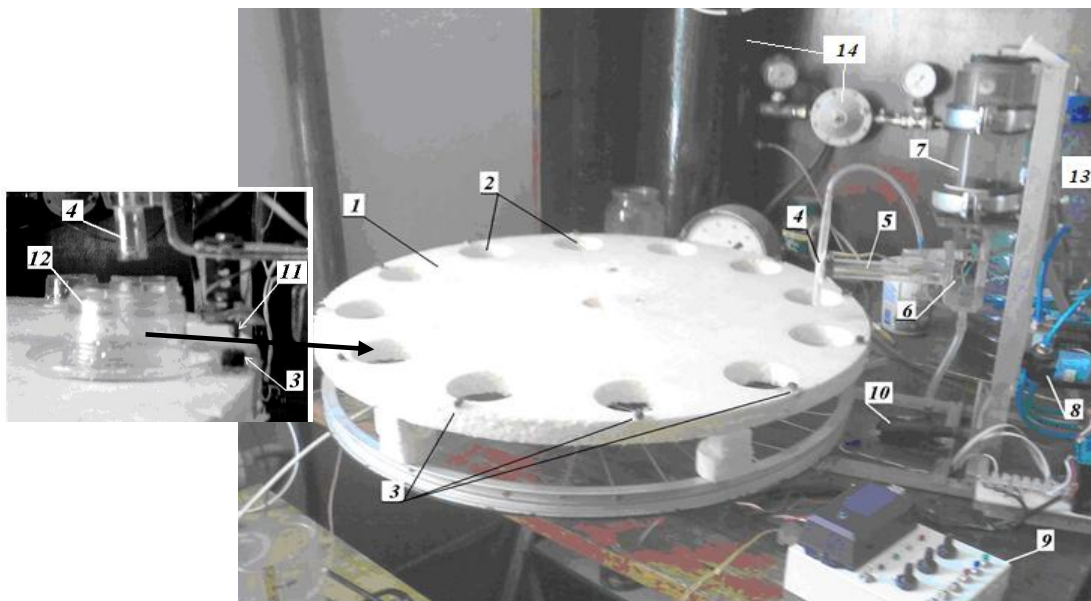


Рис. 3.6. Стенд дослідження мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарата:

1 – диск з комірка; 2 – комірки; 3 – висівні мітки; 4 – ствол;  
 5 – насіннепровід з датчиком заряду та висіву; 6 – дозуючий пристрій;  
 7 – корпус висівного апарата; 8 – електроклапани; 9 – модуль керування мехатронної системи; 10 – насос; 11 – датчик переміщення; 12 – насіння-уловлювач; 13 – резервуар для рідини; 14 – пневмосистема;

Згідно розробленої методики проведемо дослідження мехатронної системи за багатофакторним планом  $3 \times 27$ . Врахувавши теоретичні дослідження нами обрано основні (конструкційні, технологічні, режимні) фактори для дослідження їх впливу на якість роботи мехатронної системи, яку оцінюватимемо за точністю висіву  $T_g$  висівним апаратом гідросівалки. Значення параметрів (факторів) наведено в таблиці 3.3, результати досліджень в табл. 3.4

Таблиця 3.3 - Значення факторів

Кодоване позначення	Фактори	Рівні варіювання			Інтервали варіювання
		-1	0	1	
$x_1$	Частота висівів, Гц	4	8	12	4

$x_2$	Концентрація насіння, 1/мл	0,2	0,4	0,6	0,2
$x_3$	Тиск рідини в резервуарі, Атм	1	1,5	2	0,5

Таблиця 3.4 – Результати досліджень багатofакторного експерименту  
план 3х27

№ дослідду	Фактори			Критерій оптимізації		
	Частота висівів, $f_e$	Концентрація насіння, $k_H$	Тиск рідини, $P_p$	Точність висіву $T_e$ , %		
				Експер.	Теор.	Відх.
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y_E$	$y_T$	-
1	-1	-1	-1	93	92,5	-0,5
2	-1	-1	0	92,3	91,9	-0,4
3	-1	-1	1	98,2	95,8	-2,4
4	-1	0	-1	96,7	96,8	0,1
5	-1	0	0	95,2	97,4	2,2
6	-1	0	1	89,2	88,0	-1,2
7	-1	1	-1	86,3	86,7	0,4
8	-1	1	0	87,2	88,0	0,8
9	-1	1	1	77,2	76,0	-1,2
10	0	-1	-1	73,4	73,5	0,1
11	0	-1	0	67,9	69,0	1,1
12	0	-1	1	100	100,0	0,0
13	0	0	-1	100	99,8	-0,2
14	0	0	0	97,3	96,5	-0,8
15	0	0	1	92,1	92,2	0,1
16	0	1	-1	87,5	87,6	0,1
17	0	1	0	85,2	85,0	-0,2
18	0	1	1	72,2	70,8	-1,4
19	1	-1	-1	68,2	68,5	0,3
20	1	-1	0	63,2	64,1	0,9
21	1	-1	1	95,3	95,5	0,2
22	1	0	-1	93,4	93,4	0,0
23	1	0	0	90,5	90,1	-0,4
24	1	0	1	87,1	88,2	1,1
25	1	1	-1	84,2	83,8	-0,4
26	1	1	0	81,9	81,2	-0,7

27	1	1	1	93	92,5	-0,5
----	---	---	---	----	------	------

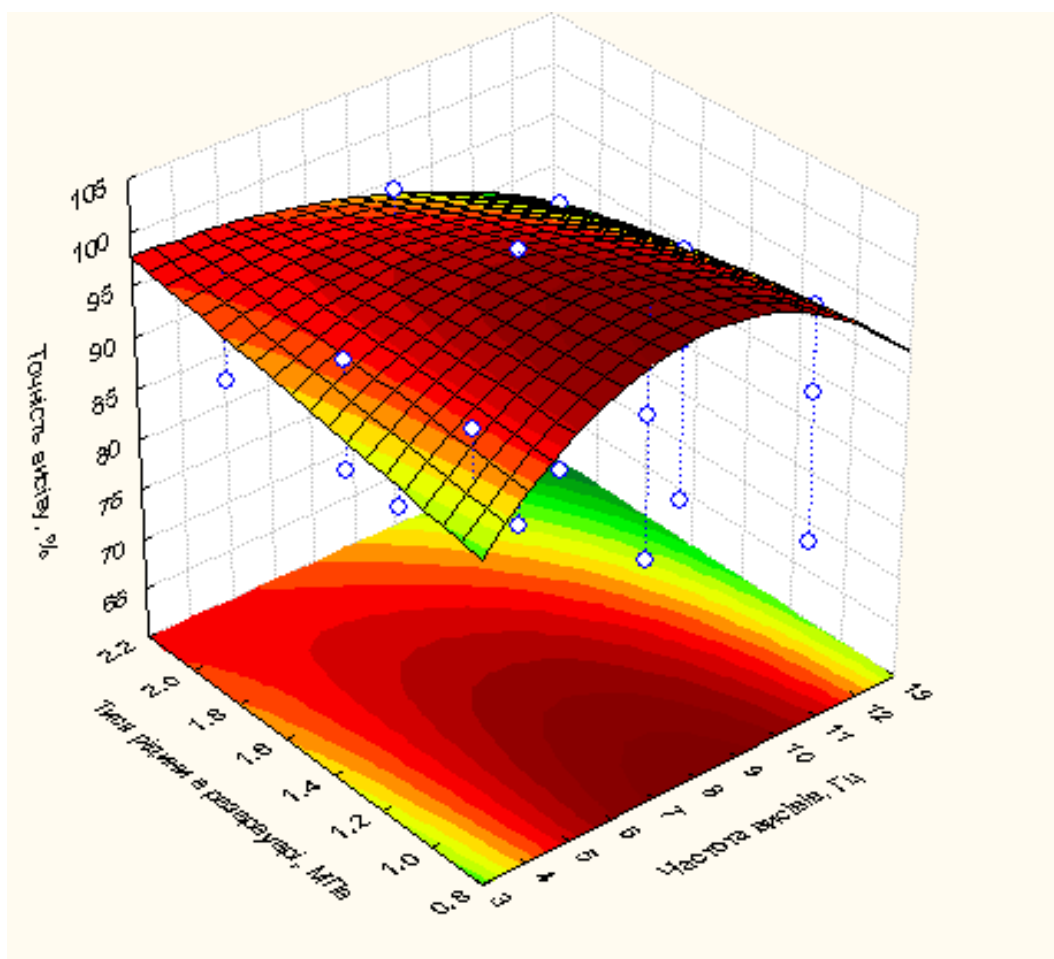
Використавши програмний пакет «Statistica-10» проведено обробку результатів досліджень багатofакторного експерименту. За результатами якого отримано математичну модель в розкодованому вигляді залежності точності висіву  $T_B$  гідросівалки від основних параметрів: частота висівів  $f_6$ , концентрації насіння  $k_H$ , тиску рідини в резервуарі  $P_p$ .

$$T_B = 192,83 - 35,614 \cdot f_6 + 1,774 \cdot f_6^2 - 581,5 \cdot k_H + 645,55 \cdot k_H^2 + 5,5 \cdot P_p + 1,622 \cdot P_p^2 +$$

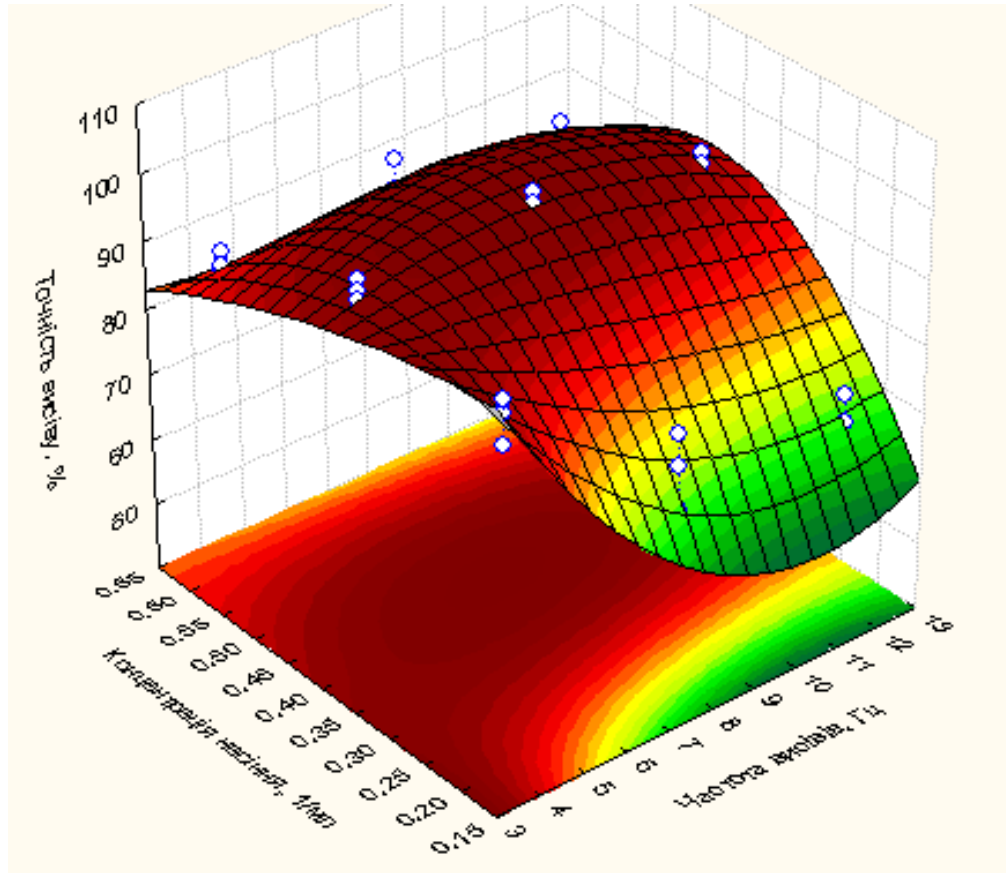
$$+ 196,07 \cdot f_6 \cdot k_H - 207,45 \cdot f_6 \cdot k_H^2 - 10,27 \cdot f_6^2 \cdot k_H + 11 \cdot f_6^2 \cdot k_H^2 - 2,567 \cdot f_6 \cdot P_p - 0,667 \cdot f_6 \cdot P_p^2 +$$

$$+ 0,144 \cdot f_6^2 \cdot P_p + 0,029 \cdot f_6^2 \cdot P_p^2 + 92,5 \cdot k_H \cdot P_p - 21 \cdot k_H \cdot P_p^2 - 192,5 \cdot k_H^2 \cdot P_p + 51,66 \cdot k_H^2 \cdot P_p^2 \quad (3.8)$$

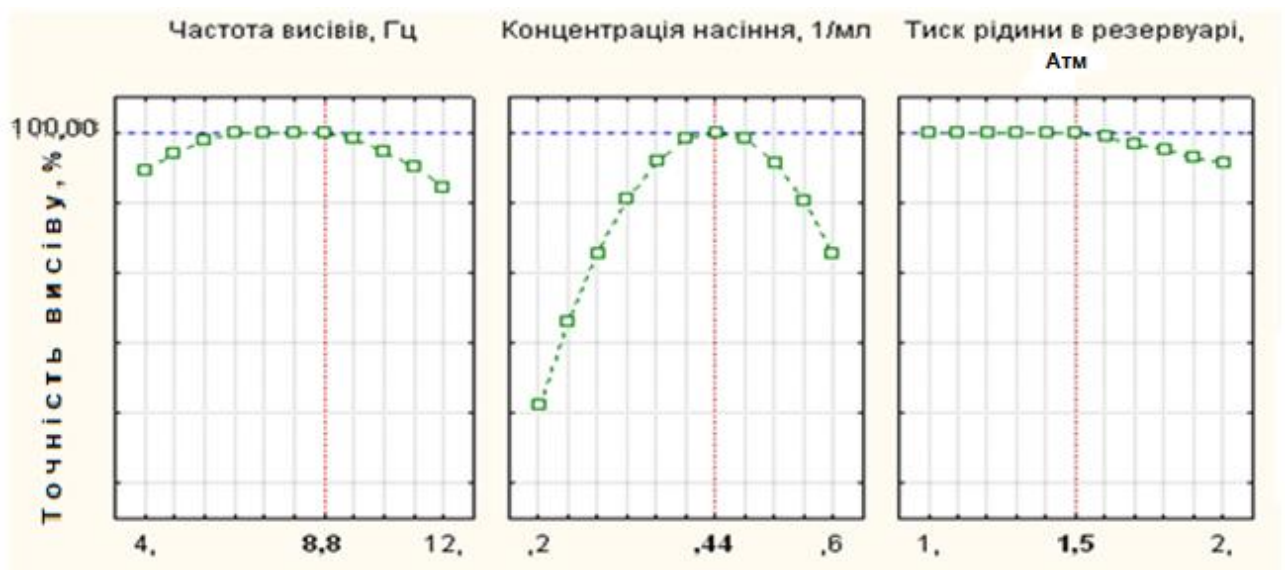
Використавши програму Statistika-10 встановлено бажані значення факторів, за яких точність висіву матиме максимальне значення. Результати оптимізації наведено на рис. 3.7



а



б



в

Рис. 3.7 – Поверхні (а, б) та функції бажаності факторів (в)

### 3.6 Висновки

1. Дослідженнями встановлено, що використання дозуючого пристрою практично в двічі знижується витрата потужності на приводі насоса з 5...8 Вт до 3,6 Вт. Коефіцієнт ежекції склав 1,8...2,2, що дозволить забезпечити надійний однонасінневий відбір та послідуєче однонасіннєве дозування насінини до ствола висівної частини мехатронної системи висівного апарату.

2. Дослідженнями встановлено відсутність завалів характеристики роботи електро-гідро клапану, що свідчить про добру роботу клапана на високих частотах до 20 Гц при тривалості імпульсу відкриття електро-гідро клапана 80 мс.

3. За результатами багатофакторного експерименту проведено обґрунтування параметрів мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки. Для підтримання максимальної точності висіву встановлено бажані значення факторів (параметрів), а саме частота висівів  $f_v = 8,8$  Гц, концентрація насіння  $k_n = 0,44$  1/мл, тиск рідини в резервуарі  $P_p = 1,5$  МПа.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Організація охорони праці

Згідно Конституції України, Кодексу законів про працю, Закону «Про охорону праці», а також розробленими на їх основі нормативно-правових актів встановлені і регламентуються основні положення по охороні праці.

В СПП «Чумаки» за охорону праці відповідальним являється директор, який своїм наказом покладає відповідальність за охорону праці на структурні підрозділи. В рослинництві відповідальним за охорону праці являється головний агроном. В підрозділі механізації цю відповідальність покладено на головного інженера. Кожний з відповідальних за охорону праці свого підрозділу веде контроль та проведення всіх видів інструктажів з охорони праці, що повинно бути підтверджено записами в журналі

Кожний з виробничих підрозділів підприємства обладнаний куточком з охорони праці, з розміщенням засобів пожежогасіння та надання первинної медичної допомоги (аптечками). Там же розміщуються інструкції з охорони праці на робочих місцях. Контроль за станом куточків з безпеки праці з засобами пожежогасіння, перевірки стану обладнання та засобів захисту небезпечних робочих зон покладається на відповідальних по виробничим підрозділам. Всі працівники господарства повинні бути забезпечені засобами захисту від запилення та хімічного враження.

В адміністративному корпусі господарства розташовано медичний пункт де організовано огляд працівників, який проводиться перед початком зміни та за потреби протягом робочого дня. Для забезпечення швидкої передачі інформації між підрозділами налагоджений надійний телефонний зв'язок.

Проведений аналіз засвідчує задовільний стан системи охорони праці на підприємстві. Своєчасне проведення інструктажів на робочому місці,



являється основним заходом для практичного засвоєння працівниками правильних навичок роботи на виробничих місцях та правил санітарії.

Приміщеннях ремонтних майстерень та обслуговування машин мають достатнє освітлення та вентиляцію. З метою захисту від враження блискавкою виробничі та адміністративні приміщення обладнано громовідводами. Виробничі території обладнано зовнішнім освітленням, що дозволяє покращити орієнтування в темну пору доби та зменшити травмування працівників.

Пункт видачі паливо-мастильних матеріалів має відповідно куточок пожежної безпеки та обладнано громовідводами, спеціально облаштований майданчик для заміни паливо-мастильних та технічних рідин з наступною утилізацією.

Всі особи, зайняті в виробничому процесі підприємства проходять інструктаж з безпеки праці. Згідно положень проводяться наступні інструктажі з охорони праці:

вступний - при влаштуванні на постійну чи тимчасову роботу на підприємстві;

первинний - при закріпленні за робочим місцем на постійній чи тимчасовій основі;

повторний – для закріплення знань з охорони праці на робочому місці через три місяці за небезпечного виду робіт і 6 місяців для решти робіт;

позаплановий – в випадку перерви в роботі більше 60 днів, при порушенні працівниками правил охорони праці, що мали наслідки, зміни обладнання в робочому процесі операції чи роботи, зміни положень нормативних актів;

цільовий – при виконанні робіт по усуненню наслідків стихійного лиха аварій.

Проведення інструктажів покладається на керівника виконання робіт.

Інструктажі проводяться, як індивідуально так із групою осіб з занесення інформації до журналу реєстрації проведення інструктажів з охорони праці.

## 4.2 Стан охорони праці

За результатами аналізу журналів реєстрації всі працівники підприємства пройшли відповідні інструктажі з охорони праці.

Робочі місця обладнано куточка протипожежної безпеки. Обладнання підвищеної небезпеки має огорожі та попереджувальні таблички.

На все технологічне обладнання та ділянки на, яких воно розміщується розроблено інструкції з охорони праці.

До роботи на об'єктах підвищеної пожежної небезпеки допускаються лише ті особи, які пройшли інструктаж з протипожежної безпеки.

В цілому за результатами проведеного аналізу можна зробити такі висновки:

- проведення інструктажів з охорони праці виконується належним чином;
- енергетичні машини та мобільне і стаціонарне обладнання має задовільний стан.
- згідно проведеного моніторингу виявлено, що не всі приміщення, для зберігання та ремонту техніки обладнано громовідводами та заземленням.

В цілому підприємство фінансово підтримує виробничі підрозділи для підтримання охорони праці, що зменшує число аварійних ситуацій та наслідків порушення охорони праці на робочих місцях.

## 4.3 Аналіз виробничого травматизму

Вище наведені заходи з охорони праці дозволяють зменшити відсоток нещасних випадків на виробництві але повністю його усунути не можливо, що пов'язано з нехтуваннями порушеннями інструкцій на виробничих місцях, хворобливого стану працівника, не уважності під час виконання технологічної операції, відсутністю засобів індивідуального захисту тощо.

Облік виробничого травматизму виконуємо за актами про нещасні випадки на виробництві (форма Н-1). Використовуючи звіти про травматизм та

акти розслідування нещасних випадків (форма Н-5). Розрахунок виробничого травматизму проведемо за загально прийнятою методикою [47, 48 ].

Частота травматизму:

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

де:  $n_p$  – середнє число робітників, люд.;

$T$  - число потерпілих із втратою працездатності, чол.

Тяжкість травматизму:

$$K_{\text{т}} = \frac{D_{\text{н}}}{n_2}, \quad (4.2)$$

де:  $D_{\text{н}}$  - число днів непрацездатності, дні;

$n_2$  - число потерпілих із втратою працездатності, без обліку загиблих, чол.

Коефіцієнт непрацездатності:

$$K_{\text{н}} = \frac{D_{\text{н}} \cdot 1000}{n_p}, \quad (4.3)$$

де:  $D_{\text{н}}$  - число днів непрацездатності, дні.

Результати розрахунків наведем в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Показники виробничого травматизму в СПП «Чумаки»

Показники травматизму	Роки				
	2017	2018	2019	2020	2021
Середньорічне число робітників, люд.	126	125	136	142	140
Кількість нещасних випадків	1	2	1	0	0
Число днів непрацездатності, дн.	24	64	30	-	-
Коефіцієнти:					
- частоти травматизму	7,9	16	7,4	0	0
- тяжкості травматизму	24	32	30	0	0
- непрацездатності	190,5	512	220,6	0	0

Додаткове фінансування позитивно вплинуло на зменшення нещасних випадків особливо за останні два роки. Не зважаючи на це людський фактор завжди присутній в робочому процесі тому потрібно продовжувати роз'яснювальну роботу серед робочого персоналу.

#### 4.4 Вимоги з охорони праці під час виконання операції посіву

##### *Загальні положення*

1. Процес посіву виконується посівним агрегатом, який складається з трактора та посівної машини (рис. 4.1). До керування трактором допускаються особи, які мають відповідну категорію та пройшли стажування на виконання операції посіву

2. Особа яка виконує операцію посіву повинна бути забезпечена спец одягом для виконання операцій в умовах підвищеної запиленості.

3. Операції пов'язані з завантаження посівного матеріалу за потреби виконуються з залученням механізації.



Рис. 4.1. Процес посіву овочевою гідросівалкою

### *Вимоги безпеки перед початком роботи*

1. Перед початком роботи виконується завантаження посівного матеріалу.
2. Встановлюються основні параметри процесу висіву: глибина посіву, норма висіву, робочий тиск пневматичної системи або/та гідравлічної системи, концентрація насіння (гідровисів).
3. Виконується перевірка кріплень основних вузлів посівного агрегату.
4. Переконайтеся перед початком руху у відсутності сторонніх осіб в робочій зоні агрегату.

### *Вимоги безпеки під час виконання роботи*

1. Виконання операції посіву здійснюється за постійного моніторингу систем контролю роботи посівного агрегату в разі виникнення аварійних ситуацій негайно припинити виконання технологічної операції до усунення причини аварії.
2. В процесі роботи періодично зупинивши агрегат перевіряти якість роботи основних вузлів і механізмів посівного агрегату. Виконати очищення сошників від рослинних решток чи налиплого ґрунту.
3. На обладнаній сидінням сівалці категорично забороняється вставати чи сідати на ходу під час переміщення агрегату.
4. Сівальник повинен бути забезпечений спецодягом та засобами захисту очей та дихальних шляхів.
5. Роботи, що проводяться в темну пору доби виконуються за умови ефективного допоміжного освітлення.

### *Вимоги безпеки по закінченні роботи*

1. По закінченню роботи виконати очистку всіх робочих елементів посівного агрегату. Робота виконується в захисних рукавицях з використанням щіток та чистиків за вимкненого двигуна трактора.

2. Залишки посівного матеріалу необхідно здати на склад.
3. Засоби захисту здати на склад, спецодяг в прання і прийняти душ.

#### *Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях*

1. В аварійній ситуації негайно припинити роботу посівного агрегату до вирішення проблем.
2. В випадку виникнення нещасного випадку, погіршення здоров'я негайно повідомити керівника та надати першу медичну допомогу потерпілому. Місце нещасного випадку зберегти без змін до повного розслідування, якщо це не загрожує життю і здоров'ю оточуючих.

#### 4.5 Заходи по поліпшенню охорони праці та безпеки в НС

Провести розрахунки хімічного зараження території в результаті розгерметизації ємності з небезпечною хімічною речовиною при перевезенні автомобільним транспортом хлору 10 т. З швидкістю вітру 5 м/с, температурою навколишнього середовища 18 °С.

*Прогнозування хімічної обстановки* - отримання ймовірної інформації про хімічну обстановку, що може скластися на території регіону, об'єктах господарювання на основі прогнозу (передбачення) наслідків хімічного зараження у відповідних умовах.

За загальноприйнятою методикою проведемо розрахунки зараження території [47].

Глибина прогнозованої зони зараженого повітря:

$$G_p = \frac{G_T \cdot K_B}{K_{CX}} = \frac{150 \cdot 1}{1} = 150 \text{ км}, \quad (4.4)$$

де  $\Gamma_T$  – табличне значення глибини зони враження з врахуванням вихідних даних приймаємо 150 км, згідно [47].  $K_B$  – поправочний коефіцієнт на вітер приймаємо згідно [47];  $K_{CX}$  – коефіцієнт, що враховує тип сховища для не обвалованої ємності приймаємо  $K_{CX}=1$ .

Прогнозована зона хімічного зараження (ЗХЗ) для інверсії:

$$Ш_{xz} = 0,2 \cdot \Gamma_p = 0,2 \cdot 150 = 30 \text{ км.} \quad (4.5)$$

Площу ЗХЗ визначаємо за формулою:

$$S_{xz} = 0,5 \cdot Ш_{xz} \cdot \Gamma_p = 0,5 \cdot 20 \cdot 150 = 1500 \text{ км}^2 \quad (4.6)$$

Часу підходу зараженої хмари до заданого об'єкта ( $t_{підх}$ ):

$$t_{підх} = \frac{R_0 \cdot 1000}{W_x \cdot 60} = \frac{10 \cdot 1000}{5 \cdot 60} = 33,3 \text{ хв}$$

де  $R_0$  – відстань від місця аварії, приймаємо 10 км;

$W_x$  – швидкість підходу забрудненої хмари повітря, приймаємо 5 м/с.

Визначення тривалості зараження господарства

$$t_{ур} = t_{ур \cdot табл} \cdot K_{шв} = 1,5 \cdot 0,34 = 0,51 \text{ год} \quad (4.7)$$

Згідно таблиці 2.3 [47] знаходимо, що для хлору в необвалованій ємності

$t_{ур \cdot табл} = 1,5$  год. За швидкості вітру – 5 м/с з таблиці 2.4 [47] знаходимо  $K_{шв} = 0,34$ .

*Визначення можливих втрат людей, працюючих в господарстві.* Для наведених вихідних даних з таблиці 2.5 [47] знаходимо, що можливо ураження: 20% працівників в приміщеннях; 41% працівників, що працюють за межами приміщень.

*Загальні висновки:* Визначено, що  $\Gamma_p > R_0$ , це означає, що господарство потрапляє в ЗХЗ. Час підходу отруйної хмари 0,5 години за оперативних зборів цього часу достатньо для повної евакуації персоналу.

#### 4.6 Висновки

За результатами проведеного аналізу охорона праці на підприємстві СПП «Чумаки» організована належним чином. Розроблені заходи з охорони праці на посіві овочевих культур та виявлені недоліки дозволять знизити травматизм на підприємстві.



## 5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОВИСІВУ НАСІННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

Економічну оцінку запропонованого способу посіву виконаємо шляхом порівняння класичного способу посіву сухим методом назвем його базовим і запропонованим способом посіву з використанням рідини тобто мокрим методом назвем його експериментальним. Врахувавши машино-тракторний комплекс СПП «Чумаки» обираємо базову технологію для реалізації вирощування овочевих культур з наявними машинами та обладнання для механізації процесу посіву, догляду за культурами та збирання продукції.

Традиційна технологія вирощування овочевих культур передбачає ранньовесняне боронування боронами БЗСС-1,0, наступною операцією проводимо культивування на глибину 8–10 см культиватором КПС-4 з боронами БЗСС-1,0, посів насіння овочевих культур виконуємо сівалками точного висіву «Клен-2,8», Калібра, SN-2-130, «Gaspardo-ORИЕТТА» на глибину 2..3 см. Догляд за посівами виконуємо за допомогою культиваторів КРН-4,2 чи КОР-4,2. Дані машини агрегуються з трактором МТЗ-80.

Економічну оцінку проведемо на посіві овочевих культур в СПП «Чумаки» на ділянці поля площею 20 га. Оцінку проведемо по методиці визначення показників економічного оцінювання посівного агрегату викладеній в ДСТУ 4397:2005 «Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування».

За базовий варіант приймаємо машино-тракторний агрегат для посіву насіння овочевих культур сухим методом: МТЗ-80+Клен-2,8.

За експериментальний приймаємо машино-тракторний агрегат для посіву насіння овочевих культур мокрим методом за допомогою експериментальної гідросівалки точного висіву ЕГСТВ: МТЗ-80+ЕГСТВ.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані базового і удосконаленого варіантів

Показники	Базовий	Проектний
Машино-тракторний агрегат	МТЗ-80 + Клен-2,8	МТЗ-80 + ЕГСТВ
Тип висівного апарату	вібраційний	пневно-гідравлічний
Вид виконаних робіт	посів насіння овочів	посів насіння овочів
Балансова вартість машини, грн	78750	74300
Площа посіву сівалкою протягом року, га	20	20
Кількість посівних секцій, шт	4	4
Ширина захвату сівалки, м	2,8	2,8
Максимальна швидкість, км/год	9	8,8
Витрати паливно-мастильних матеріалів на весь осяг робіт, кг	57	51
Годинна тарифна ставка, грн	72	72
Кількість працівників що обслуговують машину, люд	1	1
Тривалість роботи машини за рік, днів	14	12
Тривалість робочої зміни, год	8	8
Маса сівалки, кг	480	430

Продуктивність посівного агрегату:

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

де  $B_p$  – ширина захвату агрегату, м табл.5.1;

$V_p$  – робоча швидкість руху, км/год приймаємо згідно табл. 5.1;

$\tau$  – коефіцієнт використання часу зміни приймаємо 0,84;

базовий

$$W_{\tau B} = 0,1 \cdot 2,8 \cdot 9 \cdot 0,84 = 2,1 \text{ га/год,}$$

експериментальний

$$W_{\tau E} = 0,1 \cdot 2,8 \cdot 8,8 \cdot 0,84 = 2,06 \text{ га/год.}$$

Розрахунок розпочинаємо з розрахунку вартості матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів а саме вартості базових і експериментальних експлуатаційних витрат [49].

Розрахунок річні експлуатаційних витрат виконаємо за формулою:

$$B_{\text{екс}} = B_{\text{оп}} + A + T + B_{\text{рес}} + IB, \quad (5.2)$$

де:  $B_{\text{оп}}$  – витрати на заробітну плату працівників та нарахування на заробітну плату, грн;

$A$  - амортизаційні відрахування, грн;

$T$  - відрахування на поточні ремонти, грн;

$B_{\text{рес}}$  - вартість енергоресурсів, грн;

$IB$  – інші витрати грн.

Витрати пов'язані з оплатою праці:

$$B_{\text{оп}} = Z + H_3, \quad (5.3)$$

де:  $Z$  – фонд оплати праці, грн.;

$H_3$  - нарахування на фонд оплати праці, грн.

Нарахування на фонд оплати праці складається з єдиного соціального внеску – 22% тоді

$$H_3 = 0,22 \cdot Z. \quad (5.4)$$

Розрахунок фонду оплати праці:

$$Z = N_n \cdot t_{\text{доб}} \cdot D \cdot C_{\text{год}}, \quad (5.5)$$

де:  $N_n$  - кількість працівників, чол.;

$t_{\text{доб}}$  - тривалість роботи агрегату за добу, год;

$D$  – тривалість роботи агрегату протягом року, днів;

$C_{\text{год}}$  - годинна тарифна ставка, грн.

Базовий:

$$Z = 1 \cdot 8 \cdot 14 \cdot 72 = 8064 \text{ грн.}$$

Експериментальний:

$$Z = 1 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 72 = 6912 \text{ грн.}$$

Визначимо нарахування на фонд оплати праці,

Базовий:

$$H_3 = 0,22 \cdot 8064 = 1774,08 \text{ грн.}$$

Експериментальний:

$$H_3 = 0,22 \cdot 6912 = 1520,64 \text{ грн.}$$

Тоді:

Базовий:

$$B_{on} = 8064 + 1774,08 = 9836,08 \text{ грн.}$$

Експериментальний:

$$B_{on} = 6912 + 1520,64 = 8433,64 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування:

$$A = \frac{B_m \cdot \alpha \cdot t_{\text{доб}} \cdot D}{100 \cdot D \cdot Z \cdot t} \quad (5.6)$$

де:  $B_m$  - балансова вартість технічного засобу, грн.;

$\alpha$  - річна норма амортизації на технічний засіб, %.

$Z$  – кількість робочих змін.

Для машин та обладнання приймаємо 15 %;

Базовий:

$$A = \frac{78750 \cdot 15 \cdot 8 \cdot 14}{100 \cdot 14 \cdot 8 \cdot 1} = 11812,5 \text{ грн.}$$

Експериментальний:

$$A = \frac{74300 \cdot 15 \cdot 8 \cdot 12}{100 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 1} = 11145 \text{ грн.}$$

Відрахування на поточний ремонт і обслуговування:

$$T = \frac{B_m \cdot b \cdot t_{\text{доб}} \cdot D}{100 \cdot D \cdot Z \cdot t} \quad (5.7)$$

де:  $b$  – відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування, 10 %.

Базовий:

$$T = \frac{78750 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 14}{100 \cdot 14 \cdot 8 \cdot 1} = 7875 \text{ грн.}$$

Експериментальний:

$$T = \frac{74300 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 12}{100 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 1} = 7430 \text{ грн.}$$

Вартість енергоресурсів:

$$B_{рес} = B_{пмм}, \quad (5.8)$$

де  $B_{пмм}$  - вартість ПММ, грн.;

Вартість ПММ  $B_{пмм}$  визначимо за формулою:

$$B_{пмм} = Z_{пмм} \cdot Ц_{пмм}, \quad (5.9)$$

де  $Z_{пмм}$  - річні витрати ПММ, кг;

$Ц_{пмм}$  - ціна 1 кг комплексного палива, приймаємо 28,5 грн/кг.

Базовий:

$$B_{пмм} = 57 \cdot 28,5 = 1624,5 \text{ грн,}$$

Експериментальний:

$$B_{пмм} = 51 \cdot 28,5 = 1453,5 \text{ грн.}$$

Тоді:

Базовий:

$$B_{рес} = B_{пмм} = 1624,5 \text{ грн,}$$

Експериментальний:

$$B_{рес} = B_{пмм} = 1453,5 \text{ грн.}$$

Вартість інших витрат, які складають 5% від загальної суми експлуатаційних витрат:

$$IB = \frac{B_{оп} + A + T + B_{рес}}{100} \cdot 5, \quad (5.10)$$

Базовий:

$$IB = \frac{9836,08 + 11812,5 + 7875 + 1624,5}{100} \cdot 5 = 1557,4 \text{ грн,}$$

Експериментальний:

$$IB = \frac{8433,64 + 11145 + 7430 + 1453,5}{100} \cdot 5 = 1423,1 \text{ грн.}$$

За результатами розрахунків складових формули 5.2 визначимо річні експлуатаційні витрати,

Базовий:

$$B_{екс}^B = 9836,08 + 11812,5 + 7875 + 1624,5 + 1557,4 = 32705,5 \text{ грн}$$

Експериментальний:

$$B_{екс}^E = 8433,64 + 11145 + 7430 + 1453,5 + 1423,1 = 29885,24 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект від зменшення експлуатаційних витрат:

$$E_{EP} = B_{ексB} - B_{ексE}, \text{ грн,} \quad (5.11)$$

$$E_{EP} = 32705,5 - 29885,24 = 2820,26 \text{ грн/га}$$

За результатами польових досліджень приріст врожаю при посіві експериментальною сівалкою склав 72 ц/га, що складає 14,2 % відносно посівів базовою сівалкою.

Економічний ефект з врахуванням приросту урожайності:

$$E_p = (E_{EP} + E_{Bp}) = 2820 + 35920 = 38740, \text{ грн/га,} \quad (5.12)$$

де  $E_{Bp}$  – прибуток від приросту урожайності, становить 35920 грн;

Термін окупності визначимо за формулою:

$$T_o = \frac{B_m}{E_p} = \frac{29885,24}{38740} = 0,77 \text{ року} \quad (5.13)$$

де:  $E_p$  - річний економічний ефект, грн.

Економічні показники ефективності роботи наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Показники ефективності проекту

Показник	Варіанти		Проектний варіант в грн (+/-) до базового
	Базовий	Експериментальний	
Склад агрегату	МТЗ-80 + Клен-2,8	МТЗ-80 + ЕГСТВ	-
Вид роботи	посів	посів	-
Балансова вартість машин, грн	78750	74300	-4450
Річні експлуатаційні витрати – всього, грн	32705,5	29885,24	-2820,26
У тому числі:			
- заробітна плата з нарахуваннями	9836,08	8433,64	-1402,44
- амортизаційні відрахування	11812,5	11145	-667,5
- відрахування на поточний ремонт і обслуговування	7875	7430	-445
- вартість спожитих на протязі року енергоресурсів	1624,5	1453,5	-171
- інші витрати	1557,4	1423,1	-134,3
Річний економічний ефект, грн	38740		



Термін окупності, років	0,77
-------------------------	------

#### Висновки

За результатами проведеної оцінки проекту встановлено ефективність розробленої мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату та доцільність впровадження гідровисіву насіння овочевих культур, що підтверджено річним економічним ефектом в розмірі 38740 грн. Економічний ефект досягнуто за рахунок приросту урожайності на 14,2 % від використання мокрого способу посіву пророслого насіння та підвищення точності висіву гідросівалки. Термін окупності проекту склав 0,77 року.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Гідровисів пророслого насіння пришвидшує появу сходів овочевих культур на 7... 14 днів. Прискорення вегетації дозволяє отримати стійкі дружні сходи, і як результат приріст за рахунок цього врожайності вирощуваних культур.

Вирішити проблему нерівномірності висіву гідросівалок можливо використанням мехатронних систем контролю точності роботи висівного апарата гідросівалки з дозуючим пристроєм для однонасінного точного висіву насіння овочевих культур.

2. За результатами проведеного аналізу та теоретичних досліджень:

- розроблено мехатронну систему контролю точності роботи висівного апарату та дозуючий пристрій для однонасінневого відбору насіння для реалізації точного висіву гідросівалкою;

- встановлено значення конструкційних, технологічних та режимних параметри мехатронної системи, а саме загальний час робочого циклу  $t_{\text{ц}} = 0,13 \dots 0,145$  с, швидкість руху гідросівалки  $V_{\text{в}} = 0,51$  км/год при висіві насіння з інтервалом 2 см,  $V_{\text{в}} = 8,82$  км/год, при висіві з інтервалом між насінинами 40 см. Частота спрацювання електро-пневматичного клапана (частота висівів)  $f_{\text{в}} = 7,14$  Гц. Максимальне значення робочого тиску повітря (висіву насіння)  $P_{\text{п}} = 0,135 \dots 0,16$  МПа.

- встановлено значення критичних швидкостей формування псевдозрідженого шару від 0,001 до 0,162 м/с, відповідно концентрація насіння знаходитиметься в межах 0,2...0,6 1/мл.

3. За результатами експериментальних досліджень:

- встановлено, що використання дозуючого пристрою практично в двічі знижується витрата потужності на приводі насоса з 5...8 Вт до 3,6 Вт. Коефіцієнт ежекції склав 1,8...2,2, що дозволить забезпечити надійний однонасінневий відбір та послідує однонасіннєве дозування насінини до ствола висівної частини мехатронної системи висівного апарату.

- проведено обґрунтування параметрів мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки. Для підтримання максимальної точності висіву та встановлено бажані значення факторів (параметрів), а саме частота висівів  $f_v = 8,8$  Гц, концентрація насіння  $k_n = 0,44$  1/мл, тиск рідини в резервуарі  $P_p = 1,5$  МПа.

4 . Розроблені заходи з охорони праці на посіві овочевих культур та виявлені недоліки дозволять знизити травматизм на підприємстві.

5. За результатами проведеної оцінки проекту встановлено ефективність розробленої мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату та доцільність впровадження гідровисіву насіння овочевих культур, що підтверджено річним економічним ефектом в розмірі 38740 грн. Економічний ефект досягнуто за рахунок приросту урожайності на 14,2 % від використання мокрого способу посіву пророслого насіння та підвищення точності висіву гідросівалки. Термін окупності проекту склав 0,77 року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://hydroseed-tech.livejournal.com/1019.html>
2. <https://www.finncorp.com/wp-content/uploads/2021/04/5-Series-ME.pdf>
3. Кондратьев В.Н., Свирдович Т.Г., Гацунович К.А., Самбурский Г.А., Карловский В.Ф.: пособие по укреплению откосов каналов, дамб и плотин гидропосевом трав с применением водорастворимых синтетических полимеров. Мн. БелНИИМиВХ, 1997.-75с.
4. Кондратьев В.Н. Разработка технологий и средств механизации для биологических закреплений откосов. Дисс.док.тех.наук: Мн.1994.-651с., 06.07.1995.
5. Дейнека, С. М. Висів пророщеного насіння овочевих культур за допомогою гідросівалки / С. М. Дейнека // Технічні науки та технології. – 2018. – № 1 (11). – С. 280-286.
6. Бакум М.В., Ящук Д.А. Результати порівняльних польових досліджень способів посіву насіння овочевих культур. Вісник ХНТУСГ. Харків. – 2013, Випуск 135. – С. 374-379.
7. Улексін В.О. Обгрунтування параметрів висівного апарата для мостового землеробства. Механізація та автоматизація виробничих процесів. Вісник СНАУ. Суми. 2006. Вип. 9(15). С. 78-85.
8. Гидросеялка. Патент Белорусии № 4795 А 01С 7/00. 2002.
9. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації. Патент України UA № 90998 А01С7/04. Бюл. № 12, 2010.
10. Улексін В.О., Бойко В.Б., Брижа М.Р. Дослідження гідропневматичного висівного апарата. Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ. Днепропетровск. 2008. Вып.75. С.228-232

11. Гідравлічний висівний апарат. Патент України № 13999 А01С7/00. Бюл. № 3. 2000.
12. В.Б. Бойко. Дослідна установка гідросепаратора для вивчення гідродинамічних властивостей насіння овочевих культур. Техніка і енергетика АПК. Науковий вісник НУБіП України. Київ. 2010. Вип. 144, ч. 2. С.192-199.
13. Н.В. Бакум, Д.А. Ящук, Н.Н. Крекот. Повышение урожайности томатов за счёт посева пророщенными семенами. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2015. Vol.17. No.7. 49-52
14. 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.
15. Бойко В.Б., Алієв Е.Б. Теоретичні дослідження руху рідини в ємності гідропневматичного висівного апарата. Інженерія природокористування. Харків. 2015. № 2 (4). С.78-84.
16. Труфляк Є. В. Дослідження роботи елементів конструкції гідросівалки для посіву овочевих культур/Є.В.Труфляк, І.С. Скоробогаченко, В. Ю. Саприкін, І. С. Труфляк [Електронний ресурс] // Політематичний мережевий електронний науковий журнал Кубанського державного аграрного університету. – Краснодар: КубДАУ, – 2016. – №116(02)
17. Авторське свідоцтво №1660602 СССР, МПК А01 С 7/04. Пристрій для висіву пророслого насіння / Г. Ю. Буржалов, М.Л. Бухман, Н.С. Євдокімов. №4725604/15; заяв. 27.07.89 опубл. 07.07.91, Бюл. № 25.
18. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву насіння овочевих культур [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.05.11 / Бойко Владислав Борисович ; Тавр. держ. агротехнол. ун-т ім. Дмитра Моторного. - Мелітополь, 2021. - 191 с.
19. <https://www.wintersteiger.com>
20. <https://seeding.com.ua/foto-ru/datchik-vyseva-dlja-sejalki-optima/>
21. [https://xn----8sbjfygplr.xn--p1ai/instruction/klen\\_1\\_5\\_porcionnaya.pdf](https://xn----8sbjfygplr.xn--p1ai/instruction/klen_1_5_porcionnaya.pdf)

22. <https://agri2.com.ua/catalog/sistema-upravleniya-seyalkami-sploshnogo-vyseva-omniseed>
23. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації: пат. 99860 Україна: МПК А01С7/04. № а 201014565; заявл. 06.12.2010; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 19.
24. Батурин В.В. Основы промышленной вентиляции. – М.: Профиздат, 1955. – 183 с.
25. Журавлев Б.И. Пневматические сеялки /Б.И. Журавлев; НИИНАвтосельхозмаш. Сер. Сельхозмашиностроение. М., 1965.-89 с.
26. Вальянов Д.Г, Пневматический высеваящий аппарат. Труды Харьковского СХИ. – Харьков, 1972, т.174. – С. 3-10.
27. Бузенков Г.М. Машины для посева сельскохозяйственных культур /Г.М. Бузенков. С.М. Ма. М.: Машиностроение, 1976.-272 с.
28. Зенин Л.С. Исследование процесса захвата семян присосками пневматического высеваящего аппарата /Л.С. Зенин // Вест. с.-х. науки Казахстана. 1960.-№7.-С.100-114
29. Шмат С.И., Шмат В.И. Пропашные сеялки // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. Респ. межвед. научн. техн. сб. – К.: 1984. – Вып. 11. – С. 22-24.
30. ДСТУ ISO 7256-1:2005. Обладнання для сівби. Методи випробування. Частина 1. Сівалки одно-насінневі (сівалки точного висіву (ISO 7256-1:1984, IDT). [Чинний від 2007-07-01]. Київ, 2007. 19 с. (Інформація та документація).
31. Мельник В. І., Результати досліджень роботи дослідного зразка спеціалізованої сівалки для сумісних посівів кормових культур. Мельник В. І., Пастухов В. І., Бакум М. В., Циганенко М. О., Скофенко С. М., Романащенко О. А., Качанов В. В., Крохмаль Д. В. Інженерія природокористування. 2019. № 3(13). С. 35-42.
32. Мельник В.І. Нові можливості при сумісних посівах кормових культур / В.І. Мельник, В.І. Пастухов, М.О. Циганенко, О.І. Анікєєв, В.В. Качанов // Інженерія природокористування. – 2018. –№ 2(10). С. 32-36.

33. Vasytkovska, K.V., Vasytkovskyi, O.M., Sviren, M.O., Petrenko, D.I., Moroz, M.M. Determining the parameters of the device for inertial removal of excess seed, 2019, INMATEH - Agricultural Engineering, 57(1), P. 135-140.
34. Сисолін П.В., Свірень М.О. Висівні апарати сівалок. – Кіровоград, 2004 р. – 160 стр.
35. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. Мехатроніка. Навчальний посібник. – К., 2012. - 357 с.
36. Таугер В.М. Основы конструирования мехатронных модулей и систем: учебное пособие / В.М. Таугер. – Екатеринбург: УрГУПС, 2004. – 140 с.
37. Іванов А.О. Теорія автоматичного керування / А.О. Іванов. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. – 2003. – 250 с.
38. Эдельман А.И. Редукторы давления газа. – М.: Машиностроение, 1981. – 167с.
39. Гевко Б.М. Гідропривод і гідроавтоматика сільськогосподарської техніки : посібник / Б.М.Гевко, С.Г.Білик., А.Ю.Ліник, О.В.Фльонц.– Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 384 с.
40. Дідур В.А., Савченко О.Д., Пастушенко С.І., Мовчан С.І. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод, - Запоріжжя, Прем'єр. 2005. – 464 с. : іл.
41. Тараканова Г.І., Мухіна В.Д. Овочівництво - 2-е вид., Перероб. і доп. - М.: Колос, 2003
42. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Т., Кваша В.Б. Основы техники псевдооживления. М.: Химия. 1967. 664 с.
43. Надикто В.Т. Основы научных исследований. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2019. 268 с.
44. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. Изд.2-е, доп. М Колос 1967г. 159с.
45. Нечаєв В.П. Теорія планування експерименту: Навч. посібник / В.П. Нечаєв, Т.М. Берідзе, В.В. Кононенко – К.: Кондор, 2005. – 232 с.
46. Пилипчук М.І. Основы научных исследований: Підручник / М.І.

Пилипчук, А.С., Григор'єв В.В. Шостак. – К.: Знання, 2007. – 270 с.

47. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; Нац. гірн. ун-т. –2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

48. Основи охорони праці: підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с.

49. Методичні рекомендації по економічному обґрунтуванню диплом-них проектів для студентів факультету механізації сільського господарства, які захищають диплом на кафедрі тракторів і автомобілів [Текст] / Дніпр, держ. агр. ун-т.; уклад. М.О. Сичова, Н.О Шевченко. - Дніпропетровськ: ДДАУ, 2008. -24 с.