

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Шуляк М.Л.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження мехатронної системи контролю точності роботи
висівного апарату гідросівалки з обґрунтуванням параметрів його
конструкції»

Виконав:

_____ (підпис)

_____ (Прізвище, ініціали)

Група:

Науковий керівник:

_____ (підпис)

_____ (Прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу
Ступінь вищої освіти «Магістр»
Спеціальність **208 Агроінженерія**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
агроінжинірингу

_____ Шуляк М.Л.

“__” _____ 202_ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ (МАГІСТЕРСЬКУ) РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Дослідження мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки з обґрунтуванням параметрів його конструкції _____,

керівник роботи: Харченко Фаріда Магомедівна, к.т.н., ст. викладач _____,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “__” _____ 202_ року
№ _____

2. **Строк подання здобувачем роботи:** “__” _____ 202_ року.

3. **Вихідні дані до роботи:** методичні матеріали, нормативні документи, наукові статті та монографії вітчизняних та зарубіжних дослідників _____.

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

5. **Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:** _____

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Економічна частина			

7. Дата видачі завдання: “ ___ ” _____ 202_ року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної (магістерської) роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної (магістерської) роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної (магістерської) роботи
1.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики та написання вступу		
2.	Підготовка розділу «Розділ 1»		
3.	Підготовка розділу «Розділ 2»		
4.	Підготовка розділу «Розділ 3»		
5.	Підготовка розділу «Розділ 4»		
6.	Підготовка розділу «Розділ 5» та написання висновків		
7.	Подання роботи на перевірку унікальності		
8.	Подання роботи до експертної ради факультету		
9.	Подання роботи на рецензування		
10.	Подання до попереднього захисту		

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної (магістерської) роботи

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційного проекту на 53 с машинописного тексту, 18 рис., 7 табл., 20 літературних джерел, __ додаток(ки).

МЕХАТРОННА СИСТЕМА; ГІДРОСІВАЛКА; ТОЧНІСТЬ ВИСІВУ;
ДОЗУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ; ПРОРОЩЕНЕ НАСІННЯ; ОХОРОНА ПРАЦІ;
ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ

Об'єктом дослідження є гідросівалка для висіву пророщеного насіння овочевих культур.

Предметом дослідження є вдосконалення мехатронної системи контролю точності висівного апарату гідросівалки.

В результаті дослідження розроблено мехатронну систему для підвищення точності роботи висівного апарату. Вдосконалено механізм дозування, що дозволяє точно відбирати і висівати окремі насінини. Також встановлено оптимальні параметри роботи системи, такі як частота висіву і тиск рідини.

Наведено: Лабораторна установка висівного апарату гідравлічної сівалки; Експериментальна гідросівалка з мехатронною системою контролю та керування роботи; Технічна характеристика основних компонентів мехатронної системи; Електроклапан SV-F-ES-22-15-DC; Стенд дослідження мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату; Результати досліджень багатofакторного експерименту план 3x27; Поверхні (а, б) та функції бажаності факторів (в).

Впровадження розробленої системи може значно підвищити точність посіву, зменшити витрати насіння та підвищити врожайність, що сприятиме підвищенню ефективності технології гідропосіву і збільшенню економічної продуктивності.

Розроблені заходи з охорони праці.

Проведено аналіз економічної доцільності.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ	6
1.1 Особливості процесу посіву з використанням гідросівалок	6
1.2 Шляхи підвищення точності висіву насіння гідросівалками	11
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	14
2.1 Теоретичні основи точності роботи висівних апаратів	14
2.2 Розробка конструкційної схеми МС контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки	16
2.3 Теоретичне обґрунтування конструкційних, режимних та технологічних параметрів МС	19
2.4 Розробка конструкції дозуючого пристрою МС контролю точності роботи гідросівалки	24
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
3.1 Програма і методика досліджень	27
3.2 Об'єкт досліджень	27
3.3 Дослідження конструктивних і технологічних параметрів дозуючого пристрою	30
3.4 Дослідження роботи електро-гідро клапана	32
3.5 Дослідження мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату	35
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	41
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	44
ВИСНОВКИ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	50
ДОДАТКИ	53

ВСТУП

В сучасному агропромисловому комплексі України впровадження інноваційних технологій та автоматизованих систем є необхідною умовою для забезпечення високої продуктивності сільськогосподарського виробництва. Одним із ключових елементів сучасних агротехнологій є точний контроль процесу висіву насіння, оскільки від цього безпосередньо залежить рівномірність розподілу насіння на полі, якість сходів та подальша врожайність. Гідросівалки, як один із видів сівалок, набувають все більшого поширення, оскільки вони дозволяють проводити точний посів з урахуванням різноманітних характеристик ґрунту і насіння.

Мехатронні системи контролю точності роботи висівних апаратів гідросівалок дозволяють суттєво підвищити ефективність сільськогосподарських робіт, забезпечуючи точне дозування та рівномірне розподілення насіння. Ці системи інтегрують механічні, електронні та програмні компоненти, що дозволяє автоматизувати процес і підвищити його надійність. Завдяки застосуванню таких систем можна значно знизити втрати насіння та добрив, що є особливо важливим у контексті сучасних економічних та екологічних викликів в Україні.

Актуальність дослідження полягає в тому, що український аграрний сектор продовжує стискатися зі значними проблемами, такими як висока вартість ресурсів, зниження родючості ґрунтів та кліматичні зміни. В умовах конкуренції на світовому ринку агропродукції та потреби в збільшенні ефективності вирощування культур, впровадження мехатронних систем контролю точності роботи висівних апаратів є важливим кроком до підвищення продуктивності та економії ресурсів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Особливості процесу посіву з використанням гідросівалок

Гідропосів — це техніка посіву насіння, яка передбачає нанесення рідкої суміші, що містить насіння та мульчу, на поверхню ґрунту шляхом розбризкування або поливання. Цей метод набув популярності в 1960-х роках з появою машин і технологій, призначених для його виконання.

Американці визнані піонерами у сфері впровадження гідропосіву. У 1940-х роках Чарльз Фінн, засновник компанії «Фінн», винайшов пристрій для нанесення мульчі, яка складалася з соломи та рідини. Цей інноваційний розпилювач забезпечив ефективний розподіл мульчі по полях із різним ступенем складності рельєфу. У 1950-х роках Моріс Манделл, співробітник Департаменту транспорту Коннектикуту, запропонував використовувати гідропосів для насіння. Дослідження, проведені щодо застосування рідини з насінням на крутих схилах доріг, дали чудові результати щодо проростання насіння та подальшого озеленення.

Згодом Чарльз Фінн прийняв цю концепцію та модифікував її для свого обприскувача для мульчі. Ця адаптація значно прискорила створення першої комерційної моделі гідросівалки, яка пройшла випробування на придорожньому озелененні Вірджинії. Суміш насіння та мульчі змішували з водою за допомогою мішалок, а потім розподіляли по узбіччях за допомогою насоса та розпилювача.

Удосконалена технологія гідропосіву, спочатку запропонована Фінном, отримала подальший розвиток паперовою компанією «International Paper». Ця компанія почала використовувати мульчу, отриману з відходів виробництва паперу, зокрема деревини. Волокна, отримані в результаті переробки деревних відходів, згодом були використані як основний компонент для мульчування «Turf Fiber».

Впровадження нового матеріалу для мульчування призвело до значних удосконалень гідросівалки, зокрема щодо валів змішувача, насосного агрегату та шлангів. Ця модернізація забезпечила постійну та надійну роботу гідросівалки з новим мульчуючим матеріалом, відповідаючи необхідним вимогам до насосного обладнання для забезпечення ефективного транспортування суміші по шлангах до місця обприскування. Ці постійні вдосконалення гідравлічних сівалок підштовхнули компанію Чарльза Фінна до другорядної позиції, якій раніше перешкоджало її зосередження на вдосконаленні відцентрового насоса. Крім того, було відзначено появу «International Paper» і «Bowie Industries» як нових учасників на ринку гідравлічного висіву; ці компанії спеціалізуються на виробництві роторно-лопатевих насосів Bowie, які використовуються нафтовидобувними компаніями. За 60 років насоси, вироблені цією компанією, зарекомендували себе як еталон у створенні надійних гідравлічних сівалок. Крім того, компанія розробила подрібнювач брикетів, який містить мульчу, що значно скорочує час підготовки сівалки до роботи. Загальна конструкція модернізованої гідросівалки представлена на рисунку 1.1.

Результатом реструктуризації International Paper стало утворення двох компаній, які займаються виробництвом мульчі: Weyerhaeuser і Conwed Fibers. Conwed спеціалізується на виробництві мульчі з тополі та осики, тоді як Weyerhaeuser використовує канадську ялину та целюлозу як матеріали для виробництва. Целюлоза набула популярності в економічно ефективних ініціативах садівництва завдяки своїй доступності.



Рисунок 1.1 - Гідросівалка компанії «International Paper» з насосом «Bowie»

У 1970-х роках бів новий етап розвитку технологій гідропосіву, зосереджений на рекультивації земель, які постраждали від техногенної діяльності, пов'язаної з земляними роботами для видобутку руди, вугілля та будівельних матеріалів, серед іншого. Цей прогрес не тільки розширив масштаб посіву, але й збільшив кількість компаній, які займаються виробництвом супутніх матеріалів і машин.

В даний час сфера технологій гідравлічної підвіски переживає значний прогрес і знаходить широке застосування в ландшафтному дизайні, поряд з такими секторами, як туризм, спорт і відпочинок. Його використання охоплює зусилля з відновлення лісів після лісових пожеж, проекти меліорації землі, стабілізацію схилів, що прилягають до доріг, а також створення полів для гольфу та стадіонів, серед інших різноманітних застосувань. На малюнку 1.2 зображено сучасну гідропосівну машину виробництва компанії Finn. Ця організація ефективно усунула недоліки в технології виробництва гідравлічних сівалок, зайнявши значне місце серед виробників такого обладнання.



Рисунок - 1.2 Гідровисівний апарат Finn BB 5 - SeriesBark [1]

Розробці, дослідженню та впровадженню гідросівалок в агропромисловому комплексі України та країн СНД присвячені праці М.Ф. Ольховський, М.В. Бакум, Д.А. Ящук, С.М. Дейнекий, В.О. Улексіна, Бойка В.Б., Кондратьєва В.Н. та ін.

Давайте розглянемо характеристики процесу гідропосіву, посилаючись на гідросівалку (рис. 1.4), яка була розроблена завдяки співпраці дослідників Харківського національного університету імені П. Василенка, технічного університету сільського господарства та Інституту овочівництва та баштанництва Національної Академії Наук [2].

Робота гідросівалки починається з введення води, доповненої захисними і стимуляторами росту, в резервуар 1 через заливну форсунку 3. Після цього закладається пророщене насіння. Для досягнення суміші заданої концентрації включається привід мішалки 14, який містить гідромотор 16 і клинопасову передачу 17.

За допомогою гідравлічного циліндра 10 висівні секції 8 розташовуються на задану глибину сошників 7. У міру просування сівалки суміш із бака 1 по головному трубопроводу 4 подається до гідравлічного висівального пристрою 5. З цього пристрою насіння розподіляється та вивільняється вздовж насінневих

ліній 6, дозволяючи йому впасти в насіннєве ложе, створене сошниками 7. Згодом борозенки закриваються та ущільнюються за допомогою котків 11.

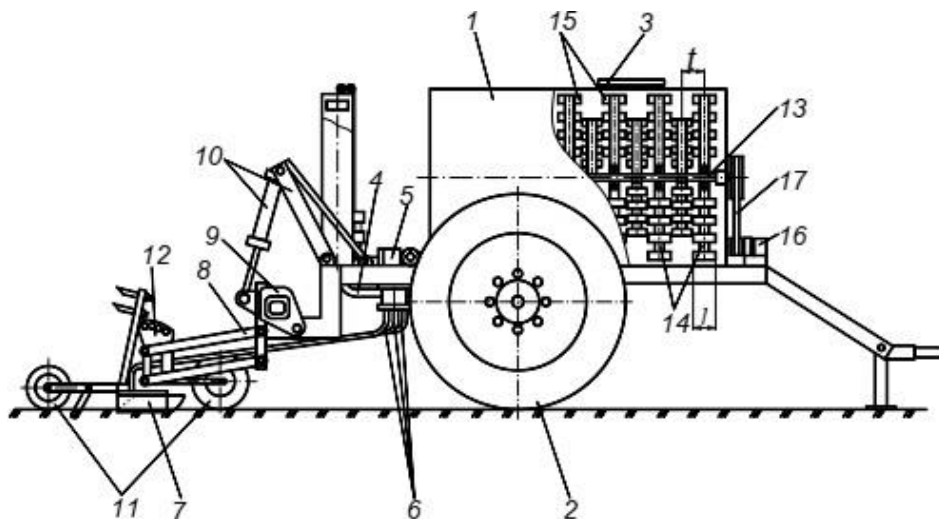


Рисунок 1.3 - Загальний вигляд гідровисівного апарату ІОБ НААН [3]

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

Постійна концентрація насіння підтримується мішалками 14, обладнаними лопатями 15, незалежно від рівня рідини в резервуарі. Привідний вал 13 працює з мінімальними обертами, завдяки чому зменшується

пошкодження пророслого насіння. Результати досліджень посіву помідорів продемонстрували переваги гідропосіву, завдяки якому польова схожість підвищилася на 17 %, а урожайність досягала 48 ц/га.

1.2 Шляхи підвищення точності висіву насіння гідросівалками

При дослідженні конструктивних характеристик гідросівалок як вітчизняного виробництва, так і зарубіжних, помічено, що процес посіву відбувається за рахунок диспергування рідкого середовища, яке несе насіння. Такий розподіл насіння виконується випадковим чином, що негативно позначається на ефективності сівалки, оскільки розташування насіння в рядках також стає довільним. Численні дослідження, присвячені цій проблемі [4], зокрема В. О. Улексіна, Г. В. Теслюка, В. Б. Бойка, Є. Б. Алієва, В. І. Пастухова, Р. В. Кириченко, Г.Ю. Буржалова та Труфлика Є.В. Тепер розглянемо найактуальніші з них.

Наприклад, патент США № 1660602 [5] представляє пристрій, призначений для однонасінневого гідропосіву, щоб гарантувати точний висів, із загальним зображенням, проілюстрованим на рис. 1.4.

Робота пристрою відбувається в певній послідовності. Спочатку насіння, яке накопичилося на дні бункера 2, захоплюється завдяки розрідженню, що утворюється в каналі 4 і трубці 6, яке виникає, коли поршень 15 зміщується вправо щодо гідроциліндра 14.

Коли клапан 13 активовано, рідина буде спрямована з бака 10 через трубку 12 у канали 3 і 5, які вбудовані в корпус, що веде до бункера для насіння. Цей процес полегшує переміщення надлишку насіння з нижньої частини бункера у верхню, в результаті чого одне насіння залишається на трубці 6. Коли поршень зміщується вліво, корпус 15 буде зміщуватися вправо разом із потік рідини, в результаті чого насіння відривається від трубки 6 та рухається разом з рідиною до насінневого проводу 7 дозатора насіння 8. Одночасно частина рідини із

бункера 2 потрапить у праву камеру гідравлічного циліндру 14; у міру руху вправо ця частина викидається через зворотний клапан 16 назад у резервуар 10.

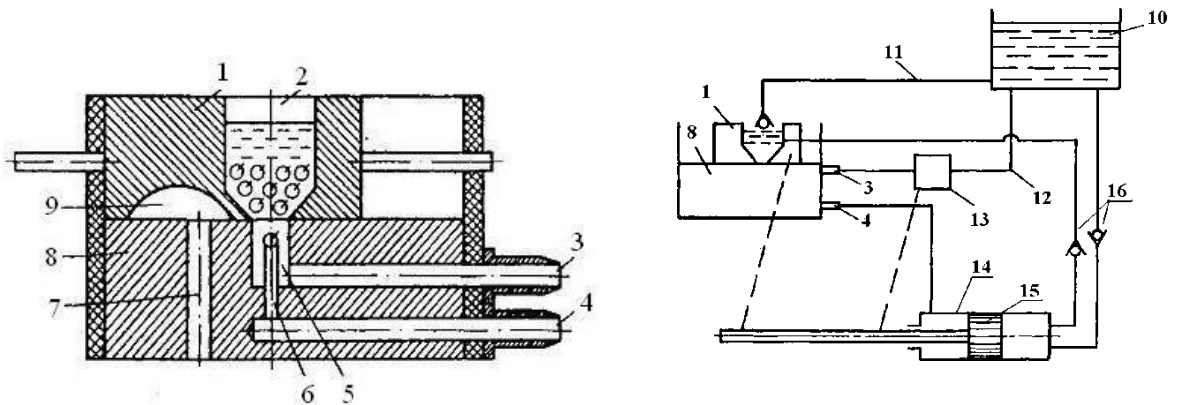


Рисунок 1.4 - Пристрій висіву пророслого насіння:

1) верхня частина пристрою дозування, 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

Крім того, наступна конструкція дозувального апарату для гідросівалок заслуговує на підвищену увагу, схематичне зображення якої показано на рисунку 1.6 [6].

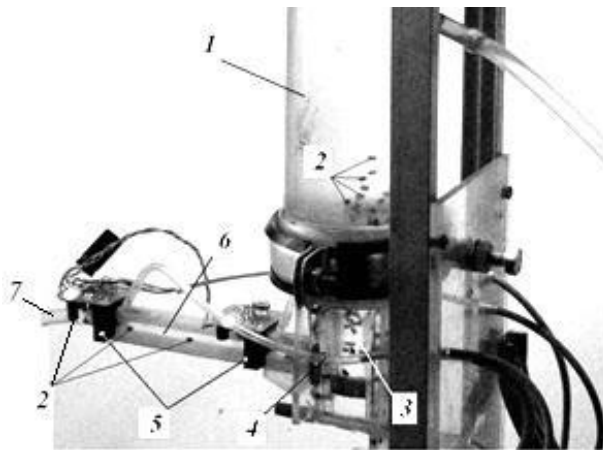


Рисунок 1.5 - Лабораторна установка з дослідження роботи дозатору гідропневматичної сівалки[7]

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 пристрою починається з активації гідравлічного клапана, зображеного на малюнку, який сприяє надходженню рідини в бак 1, де насіння з'єднується з рідиною. Згодом суміш рідини та насіння в псевдо зрідженому шарі подається від приймальної камери 3 до дозатора 6, зупиняючись поблизу фотодатчика 5 дозатора. Отже, використовуючи дозатор 6, одне насіння доставляється в бочку 7, таким чином забезпечення точного висіву насіння за допомогою гідропневматичного висівного апарату.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Теоретичні основи точності роботи висівних апаратів

Дозуючий пристрій є найважливішим компонентом сівалок точного висіву. Серед різноманітних типів дозуючих пристроїв найбільше поширення набули дискові, барабанні, гільзові та змійові. Ці пристрої повинні гарантувати відбір однієї насінини з усього об'єму та надійно подавати її до сошника. Дослідження, проведені В.В. Батуріна, Б.І. Журавльова, Д.Г. Валянова, С.А. Ма, П.В. Сисоліна, В.О. Улексіна, В.Б. Бойка, Л.С. Зеніна, В.І. Пастухова, Д.І. Петренко, Р.В. Кириченка та В.І. Мельник [8] висвітлює цей аспект. На заповнення або утримання насіння в елементах дозувального пристрою впливають кілька ключових факторів, у тому числі розмір, форма та характеристики насіння, а також конструктивні та технологічні характеристики компонентів дозувального пристрою. Основним технологічним параметром, який слід враховувати, є сила всмоктування насіння при розкритті дозування пристроїв. В.В. Батурин [9] припустив, що цю силу можна розрахувати за такою формулою:

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

Ця формула діє виключно в ідеальному сценарії прилипання насіння до лунки. Пропозиція поправочного коефіцієнта Д.Г. Валянов підвищив точність розрахунків сили всмоктування [10]:

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

На підставі результатів досліджень дозуючих пристроїв посівних апаратів Л.С. Зенін вивів емпіричну формулу для розрахунку сили присмоктування насіння до отвору [11]:

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

Дослідження, проведене Б.І. Журавльов продемонстрував вплив аеродинамічних факторів на силу всмоктування, які закладені у виведену ним формулу [12]:

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

Отримані рівняння дають лише приблизну оцінку сили всмоктування, оскільки вони не враховують ефекти тертя та інерції, які впливають на насіння. У дослідженнях, проведених С.І.Шматом, було враховано умову рівноваги сил, що діють на насіння, що призвело до формулювання рівняння для розрахунку всмоктувальної сили, що діє на насіння комірками дозатора висівного апарату [13].

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

де P_{∂} – сила осьового тиску;

m – маса насінини;

ϕ_1 – кут тертя насіння по поверхні дозуючого пристрою;

g – прискорення вільного падіння;

β – кут повороту насінини, відносно горизонтальної вісі диска;

ω – кутова швидкість дозуючого пристрою;

ε – кутове прискорення дозуючого пристрою.

R – радіус дозуючого пристрою;

Рівняння [14] використовується для оцінки точності висіву насіння сівалками, яка оцінюється за кількістю наявних зазорів.

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

2.2 Розробка конструкційної схеми МС контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки

З огляду на аналіз, що стосується мехатронних систем управління та контролю, що використовуються в висівних апаратах сівалок, разом із принципами, викладеними в посиланнях [15], була сформульована структурна схема (див. рис. 2.1), а також визначено основні компоненти мехатронної системи точного керування висівним апаратом гідравлічної сівалки (див. рис. 2.2). Тепер ми дослідимо принцип роботи мехатронної системи, зображеної на малюнку 2.1. В основі цієї мехатронної системи лежить модуль управління 11, що був розроблений з використанням апаратно-програмної платформи «Arduino Nano». Цей модуль дозволяє регулювати декілька параметрів, у тому числі швидкість руху гідровисівного апарату, яка контролюється за допомогою оптичного датчика(6), а також частоту обертання опорного колеса(7). Крім того, модуль контролює концентрацію насіння у приймальній камері сівалки дозуючим пристроєм 12. Ця концентрація насіння відстежується за допомогою сигналів, отриманих від оптичного датчика 19, і автоматично регулюється для підтримки заданих рівнів за допомогою роботи насоса 7, який оснащений електроприводом 10. 16 регулюється сигнали, випромінювані від оптичного датчика(14). За відсутності насіння датчик(14) видає сигнал, спрямований на модуль 11, спонукаючи до відкриття електрогідравлічного клапана 4.

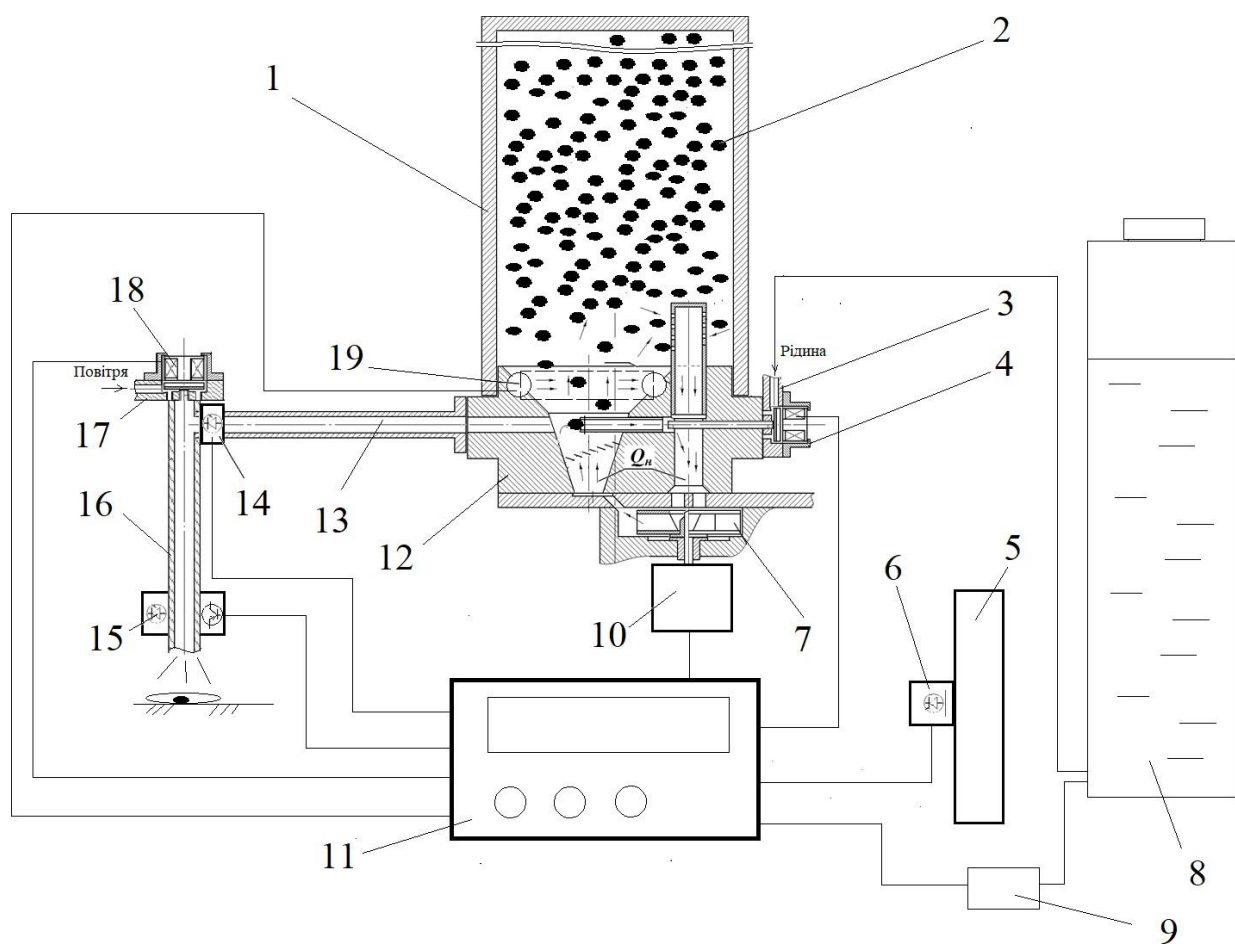


Рисунок 2.1 - Загальний вигляд гідравлічної сівалки із мехатронною системою контролю точності висівного апарату:

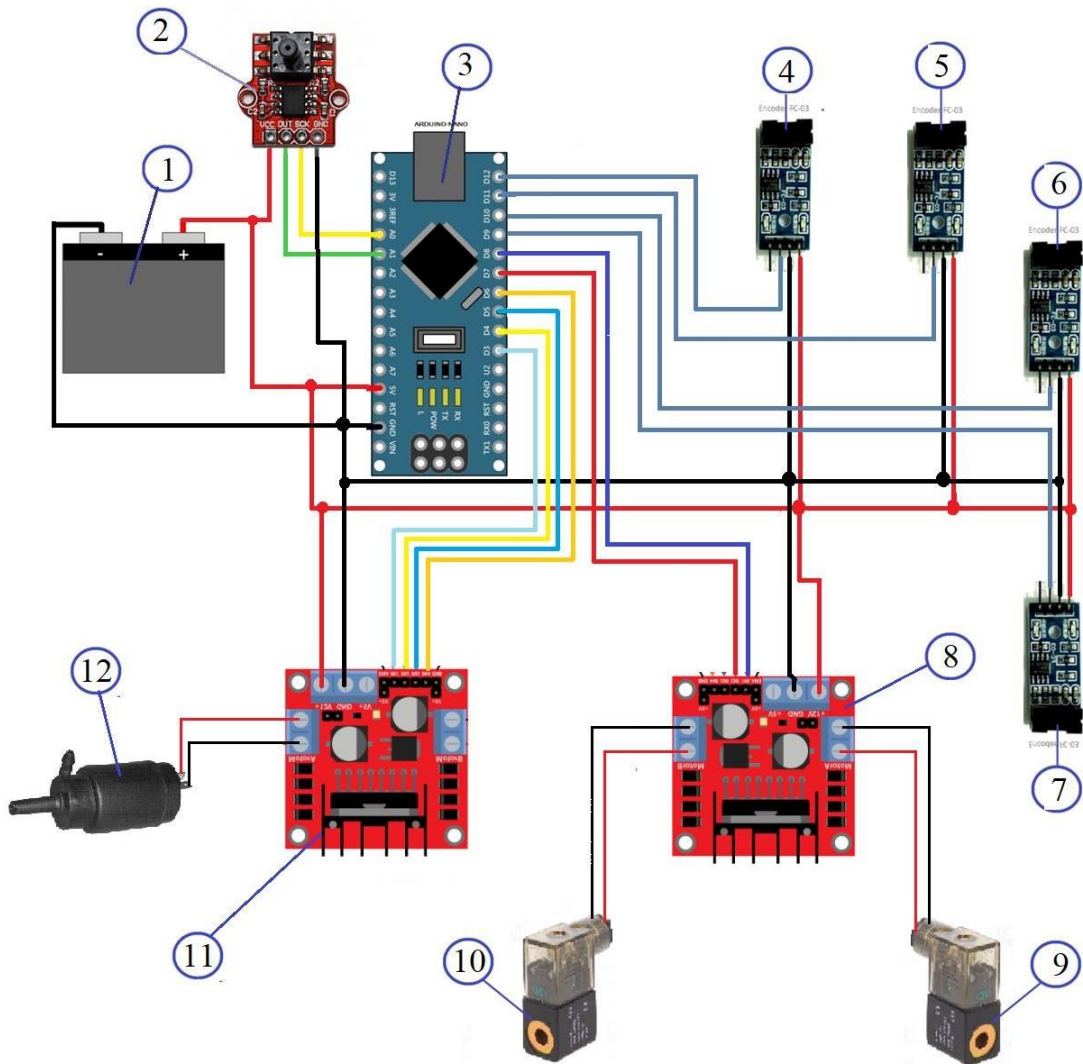


Рисунок 2.2 - Схема мехатронної системи забезпечення та контролю точності висівного апарату гідросівалки:

У дозатор через відкритий клапан надходить рідина під високим тиском, яка спрямовує насіння в бочку 16. У відповідь датчик 14 подасть сигнал про припинення роботи гідроклапана 4, завершуючи тим самим процес зарядки висівного пристрою. Висів насіння починається за сигналом датчика частоти обертання опорного колеса. Це дозволяє модулю визначати пройдену відстань і, відповідно до заданих інтервалів висіву насіння, генерувати сигнал для активації електропневматичного клапана 18. Стиснене повітря, відкриваючи клапан, штовхає насіння разом із рідиною з бочки до насінневе ложе, що вказує на завершення процесу посіву. Контроль посівної операції здійснюється за

допомогою оптичного датчика 15, який передає всі дані щодо будь-яких пропусків посіву на інформаційну плату модуля керування в мехатронній системі.

Модуль мехатронної системи має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволяє конфігурувати конструктивні, експлуатаційні та технологічні параметри, а також полегшує збір відповідних даних. Основні компоненти працюють від напруги живлення 12 В, а включення в систему електроприводів дозволяє автоматизувати процеси керування та забезпечує точність роботи висівного апарату гідросівалки.

2.3 Теоретичне обґрунтування конструкційних, режимних та технологічних параметрів МС

Після проведення ретельного аналізу операційних процедур мехатронної системи, розробленої для точного керування висівним механізмом у гідравлічній сівалки, основні параметри системи були визначені та класифіковані на окремі групи:

- конструктивні параметри, які включають концентрацію насіння в забірну камеру, напругу живлення системи та кількість висівних апаратів;
- параметри режиму, що включають частоту посіву, тривалість зарядки, тривалість посіву та час циклу;
- технологічні параметри, що складаються з тиску в баку рідини, швидкості руху гідравлічної сівалки та тиску повітря.

Розглянемо робочий цикл мехатронної системи регулювання точності висівного апарату гідравлічної сівалки. Робочий цикл мехатронної системи визначається як послідовність періодичних процесів (зарядка, очікування, заповнення), які відбуваються в певному порядку. Графічне зображення режимів роботи мехатронної системи проілюстровано на рисунку 2.3.

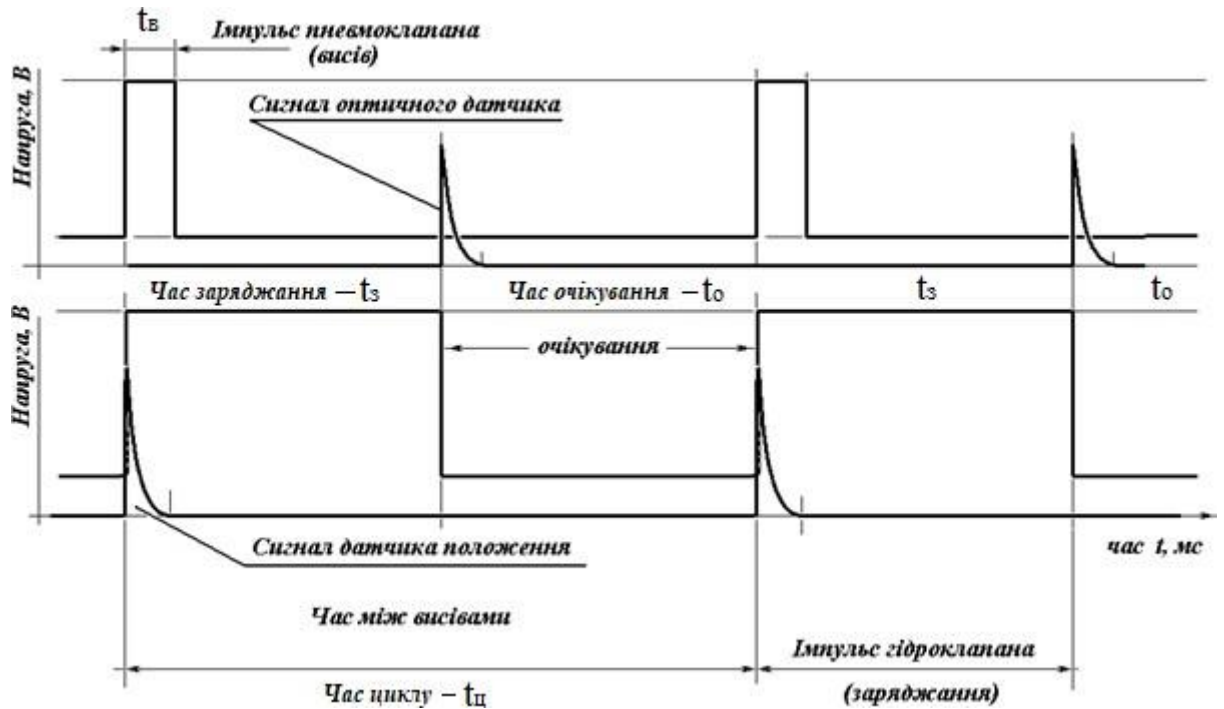


Рисунок 2.3 - Діаграма робочого циклу мехатронної системи висівного апарату

Тривалість циклу встановлюється на основі відстані між насінням у рядку та робочої швидкості сівалки.

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{в}} + t_3 + t_0 \quad (2.7)$$

де,

– час циклу, с;

– час висіву, с;

– час заряджання висівного апарату, с:

– час очікування, с.

$$t_{\text{ц}} = \frac{L_2}{V_3}, \text{ с} \quad (2.8)$$

Визначимо відповідний час для зарядки висівного апарату.

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

На підставі результатів попередніх досліджень встановлено, що середня швидкість руху насіння під тиском рідини 0,15 МПа в резервуарі становить приблизно 1 м/с; отже, це впливає на тривалість заряджання на визначеній відстані.

Час посіву залежить від технічних характеристик запірною пристрою, зокрема клапана в цьому випадку. Після вивчення клапанів, доступних від різних виробників, було обрано клапан серії SV-F-ES-22-15-AC. Даний клапан працює при напрузі живлення 12 В, підтримує робочий тиск до 0,8 МПа і має час спрацьовування 0,02 секунди. Враховуючи технічні можливості клапана, ми можемо визначити відповідний час посіву.

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

Швидкість повітря розраховується з урахуванням робочого тиску наддуву в стволі, а також площі поперечного перерізу ствола [16]:

$$P_{II} = S_C \cdot V_{II}, \text{МПа} \quad (2.11)$$

Тоді

$$V_{II} = \frac{P_{II}}{S_C}, \text{м/с} \quad (2.12)$$

Вважається, що швидкість насіння співпадає зі швидкістю повітря, що міститься в стовбурі. Враховуючи положення агротехніки [17], визначено, що критична швидкість руху насіння овочів не повинна перевищувати 15 м/с. Ми проведемо розрахунки та проілюструємо результати за допомогою графічних представлень, як показано на малюнках 2.4 та 2.5.

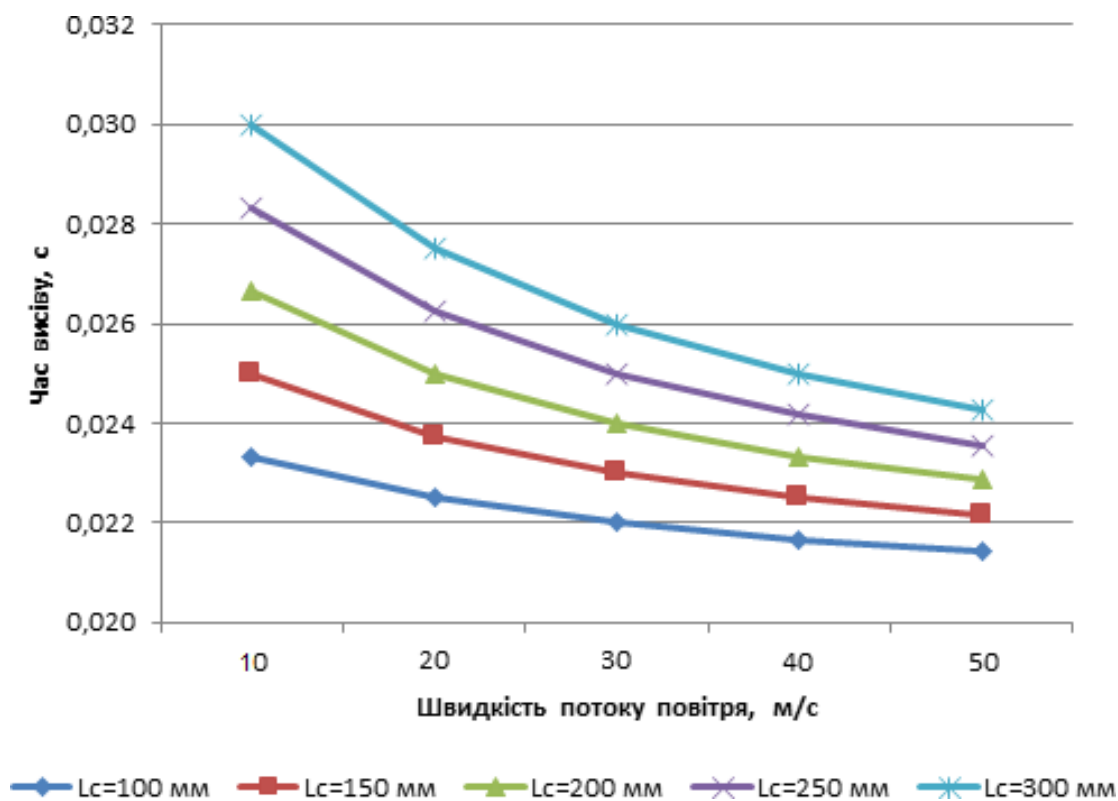


Рисунок 2.4 - Графік залежності часу висіву від швидкості повітря

На графіку показано, що мінімальний час посіву при критичній швидкості 15 метрів на сек реєструється за 0,023 секунди для стовбура довжиною $L_c = 100$ мм, тоді як для стовбура довжиною $L_c = 300$ мм мінімальний час посіву спостерігається для буде 0,029 секунди.

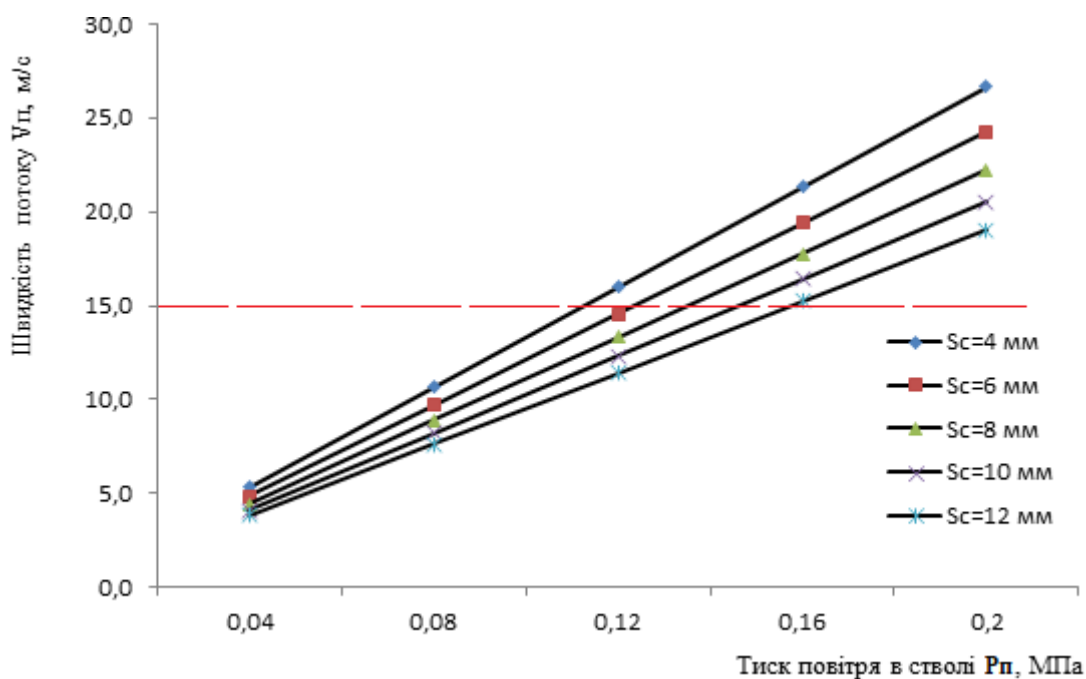


Рисунок 2.5 - Залежність швидкості потоку $V_{п}$ від робочого тиску в стволі $P_{п}$

З графіка видно, що критична швидкість на поперечному перерізі ствола $S_c = 8$ мм досягається при тиску $P_{р} = 0,135$ МПа, а для $S_c = 10$ мм це відбувається при $P_{р} = 0,16$ МПа. Час очікування розраховується за допомогою наступного рівняння:

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

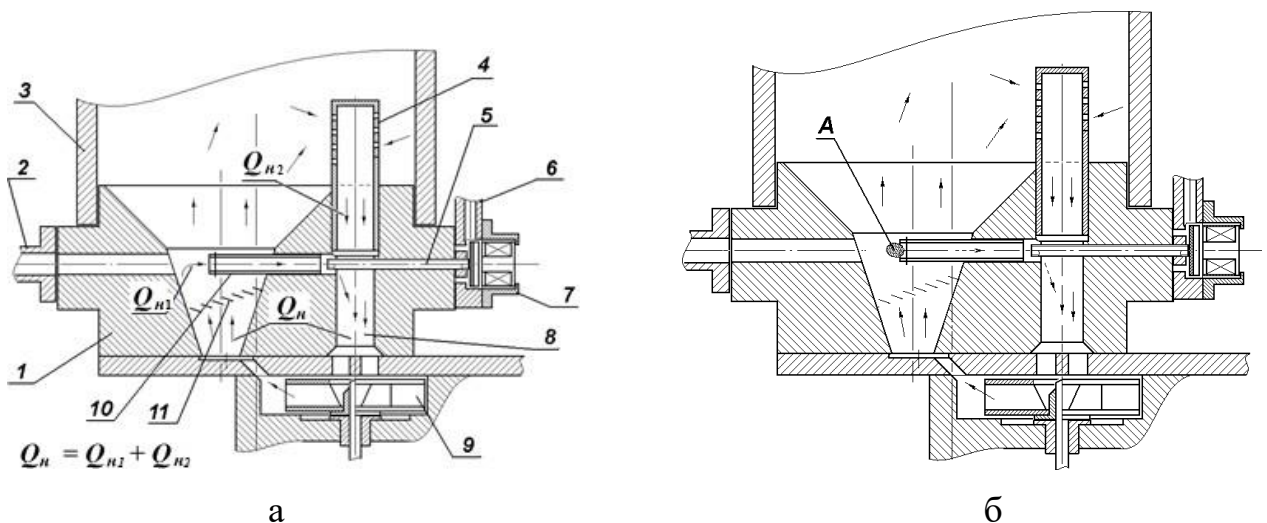
Після завершення розрахунків встановлено, що середня тривалість робочого циклу становить $t_c = 0,14$ с. При сівбі капусти розсадним способом, коли відстань між рослинами становить 2 см, висівний апарат повинен підтримувати швидкість руху не більше 0,142 м/с (еквівалентно 0,51 км/год). І навпаки, при встановленні відстані між рослинами в рядку 0,4 м (40 см, що є оптимальним для посіву білокачанної капусти, томатів, баклажанів, перцю) максимально допустима швидкість збільшується до 2,45 м/с або 8,82 км/год. Крім того, робоча частота електромагнітного клапана становить $1/0,14 = 7,14$ Гц. Враховуючи стислість тривалості циклу, вкрай необхідно, щоб усі вузли мехатронної системи гідросівалки працювали злагоджено.

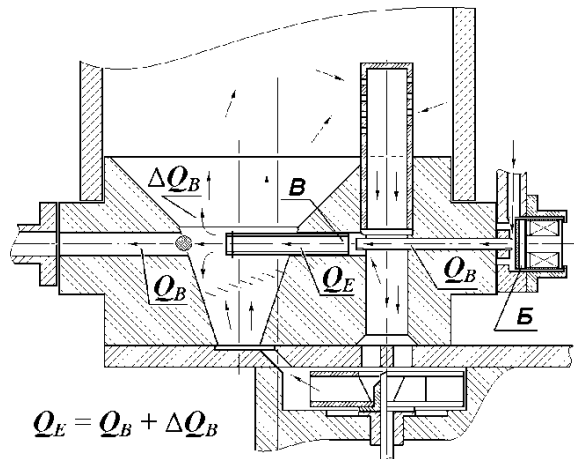
2.4 Розробка конструкції дозуючого пристрою МС контролю точності роботи гідросівалки

За прототип було обрано координатний гідропневматичний пристрій, розроблений для гідравлічної сівалки та попередньо задокументований [18]. Помітним обмеженням цього пристрою є відсутність механізму дозування, який є важливим для точного відбору насіння, таким чином запобігаючи як пропуску насіння, так і виникненню дублікатів під час посіву. Щоб вирішити цю проблему, була сформульована схема конструкції дозувального пристрою, як показано на малюнку 2.6, враховуючи особливості конструкції разом із перевагами та

недоліки дозувальних пристроїв, розглянутих у попередньому розділі. При проектуванні дозувального пристрою враховувалися переваги інтеграції пневматичної та гідравлічної систем, а також ролі гідравліки та пневматики [19, 20].

Дозатор має всмоктувальну камеру 1, розташовану в нижній частині резервуару, яка містить як насіння, так і рідину 3, де насіння опускається у всмоктувальну камеру під дією сили тяжіння. У нижній частині цієї камери розташований циркуляційний насос 9, який сприяє підйому насіння через потік, створюваний насосом. Цей процес можливий завдяки з'єднанню лінії всмоктування насоса з об'ємом резервуару через канал 8 і фільтр 4, спеціально розроблений для блокування насіння та частинок від потрапляння в насос. Згодом нагнітальна лінія циркуляційного насоса з'єднується з впускною камерою у найнижчій точці. Решітка(11) була встановлена для захисту лінії впорскування від потрапляння насіння та іншого сміття. Крім того, канал, розташований у головній частині камери та з'єднує впускну камеру з насіннєвим протоком 2. Розташована на протилежній стороні входу насіннєвого потоку ежекторна присоска 10 встановлює з'єднання між впускною камерою та розріджувальною трубкою 8, який відповідає за захоплення та утримання насіння. По осі ежектора 10 розташована трубка 5 подачі рідини, яка через електрогідравлічний клапан 7 періодично з'єднана з лінією(6) подачі рідини з бака.





В

Рисунок 2.6 - Схема режимів роботи дозуючого пристрою:

Вивчити режими роботи дозувального пристрою. При закритому положенні гідророзподільника 7 (див. рис. 2.6, а) насос 9 створює циркуляцію робочої рідини. Рідина з бака 3 фільтрується через фільтр 4 перед надходженням у приймальну камеру(1) з витратою Q_n ; Опір, створюваний фільтром(4), змушує рідину втягуватися вгору через ежектор-присоску 10, що відповідає потоку Q_{n1} . Потік рідини, що проходить через фільтр та позначається як Q_{n2} , встановлюється на основі балансу потоку.

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

Рух рідини через ежектор – присоску(10) ефективно захоплює і утримує затравку А (рис. 2.6, б).

Активуючий електрогідравлічний клапан 7 ініціює рух рідини по трубці 5, дозволяючи рідині надходити в камеру В (див. рис. 2.6, в) з витратою Q_B . Даний потік проходить крізь всмоктувальний канал 8, який виштовхує насіння А з ежектора-присоски 10. Потім він продовжує проходити через впускну камеру 1 і просувається вздовж насінневої труби 2 до датчика заряджання ствола (не зображено на малюнку). Між кінцем живильної труби 5 і початком всмоктувального каналу 8 всередині камери В існує зазор, в результаті чого

рідина втягується в ежектор-присоску 10 через канал 8 зі швидкістю Q_E , що перевищує витрату подачі Q_B .

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

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма і методика досліджень

Програму та методику проведення експериментальних досліджень розроблено згідно з нормативними документами щодо сільськогосподарської техніки, а саме ДСТУ ISO 7256-1:2005 «Обладнання посівне. Методи випробувань. Частина 1. Сівалки односівні (сівалки точного висіву), », а також СОУ 74.3-37-129:2004.

«Оцінка сільськогосподарської техніки. Методи випробувань.

У світлі цілей, встановлених для цього дослідження, програма дослідження включає наступні запити:

- визначення структурних і технологічних специфікацій дозувального пристрою в мехатронній системі;
- оцінка робочих параметрів електрогідравлічного клапана;
- дослідження того, як структурна конфігурація та технологічні характеристики мехатронної системи впливають на показники якості роботи гідравлічної сівалки.

При експериментальному дослідженні розробленої мехатронної системи та дозувального пристрою та ін. використовувалися методи наукових досліджень, розроблені В. П. Горячкіною, В. Т. Надиктою, Г. В. Веденяпіною.

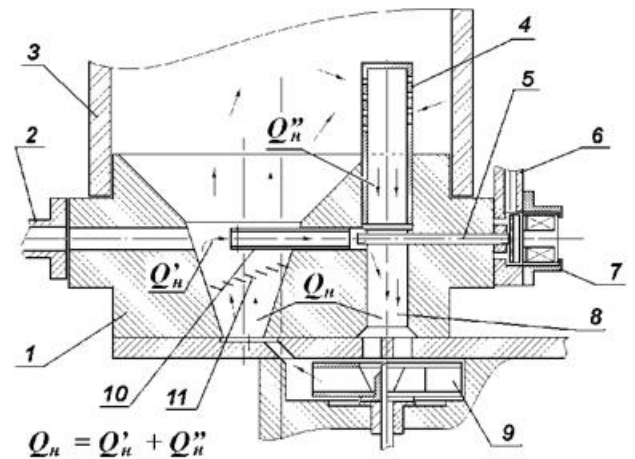
3.2 Об'єкт досліджень

У центрі даного дослідження знаходиться технологічний процес точного посіву насіння з використанням гідросівалки. На малюнку 3.1 показано лабораторне налаштування висівного пристрою гідравлічної сівалки, а на малюнку 3.2 представлено зразок, призначений для польових випробувань. Для полегшення точного висіву за допомогою гідравлічної сівалки була розроблена мехатронна система для контролю за точністю висівного апарату. Ця система

містить елементи керування, які керують робочим циклом висівного пристрою, який включає датчики для моніторингу концентрації насіння; тиску рідини у резервуарі; розподілу насіння та руху сівалки; завантаження ствола. Приводи мехатронної системи складаються з насоса та гідропневматичних клапанів, характеристики яких наведені в таблиці 3.1.



а



б



в



г

Рисунок 3.1 - Встановлення висівного апарату для гідравлічної сівалки в лабораторії включає: а) загальний вигляд висівного апарату, б) структурну схему, що ілюструє дозувальний механізм мехатронної системи, в) повний вигляд дозувального механізму та д) висівний компонент мехатронної системи, який охоплює гідравлічний клапан і датчик заряду стовбура.



Рисунок 3.2 - Гідравлічна сівалка, розроблена для експериментів, має мехатронну систему контролю та регулювання

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики основних елементів 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 електроклапана, 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

Розширена мехатронна система пропонує наступні функціональні можливості:

- Управління та контроль усіх технологічних процесів, пов'язаних із сівалкою, включаючи підтримку заданої концентрації, відбір насіння з киплячого шару, завантаження насіння на посів, і власне посів насіння;

- Можливість модифікації та реєстрації конструктивних, експлуатаційних і технологічних параметрів;

- контроль за правильним функціонуванням висівного апарату; та документація щодо:

- дат і часу польових операцій;

- Посівна площа, га;

- швидкість висіву, в кілометрах на годину;

- Норма висіву, що указана в штуках на метр посадки.

- кількість проходів, відсоток;

- норма висіву насіння, тисяч насінин на га.

3.3 Дослідження конструктивних та технологічних параметрів дозуючого пристрою

Дослідження роботи дозувального пристрою було проведено відповідно до стандартної методики, представленої на схемі, представлений на рисунку 3.3. Під час дослідження ежектор-присоска залишалася зануреною в мірну чашку. До входу ежектора рідина подавалася під надлишковим тиском з централізованого водопроводу. Манометр полегшував контроль тиску на вході в трубу 3, а регулювання тиску здійснювалося шляхом дроселювання.

Об'ємний метод використовувався для визначення потоку води Q_B через ежектор-присоску. Цей метод принципово полягає в заповненні заданого об'єму V_m протягом заданого інтервалу часу t_{dos} (див. рис. 3.3, б), тим самим піднімаючи рівень води від нижньої позначки до верхньої.

$$Q_B = V_m / t_{dos} \quad (3.1)$$

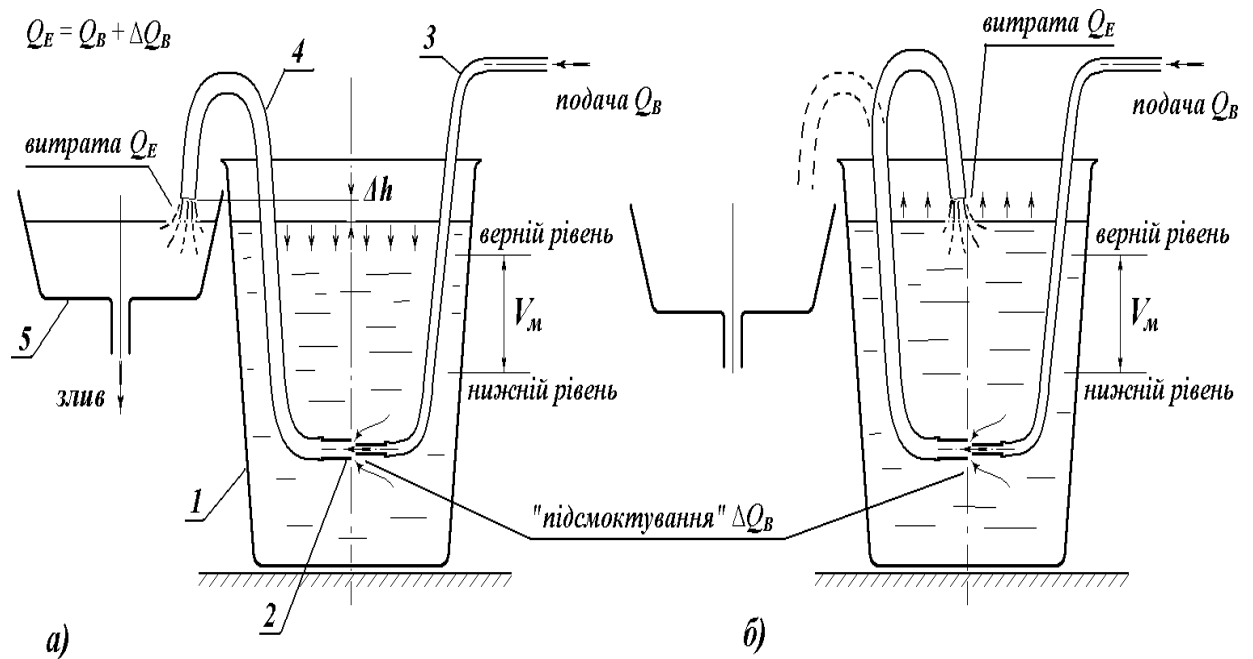


Рисунок 3.3 - Дослідження дозуючого пристрою мехатронної системи:
 а)злив, б)наповнення мірного стакану, 1) мірний стакан, 2)ежектор-присоска, 3)трубка подачі, 4)трубка зливу, 5)ємність для зливу

Розходість між втратами через трубу(4) для зливу Q_E та втратами через трубу(3) для подачі Q_B по підвідному трубопроводу буде еквівалентна витраті всмоктувальних рідин ΔQ_B .

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

Вимірювання витрати рідини через дренажну трубку Q_E оцінювали за часом t_c витікання заданого об'єму V_m (див. рис. 3.3, а), при зниженні рівня рідини від верхньої до нижньої позначки.

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

Для усунення сифонного ефекту важливо, щоб виконувалася умова $\Delta h \geq 0$. Це означає, що кінцева точка дренажної трубки повинна постійно залишатися піднятою над рівнем води в мірній чашці.

Дослідження, проведені на ежекторі-присосці, діаметр якого всередині дозуючого пристрою становить 3,5 мм, показали, що при тиску рідини на вході трубки подачі рідини діаметром 1,6 мм від 0,12 до 0,2 МПа співвідношення $Q_E /$

Q_v між 1,8 і 2,2. Це вказує на те, що ефект виштовхування зберігається, що гарантує надійний відбір окремих насінин і подальше дозування окремих насінин у ствол висівного компонента мехатронної системи в висівному пристрої.

Дослідження, проведені в контрольованому лабораторному середовищі з використанням висівного пристрою з дозуючим механізмом, як показано на рис. 3.1, показали, що електроенергія, необхідна для роботи насоса, зменшується майже на 50% у порівнянні з посівним пристроєм без вимірювального пристрою, зменшується з інтервалу від 5 до 8 Вт до 3,6 Вт.

3.4 Дослідження роботи електро-гідро клапана

Процес завантаження насіння рису виконується потоком рідини з бака 8 через електрогідравлічний клапан 4. Електрогідравлічний клапан подає рідину у відповідь на сигнали, отримані від модуля керування 11 мехатронної системи. Для визначення технічних характеристик буде проведено перевірку гідророзподільника серії SV-F-ES-22-12-DC (див. рис. 3.4), параметри якого детально наведені 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

Методологія дослідження. Робочий тиск встановлювався за допомогою редуктора, розташованого у верхній частині бака для рідини. Модуль управління мехатронної системи полегшував регулювання тривалості відкриття клапана, дозволяючи дозувати 50 мл рідини. Під час цього процесу ми реєстрували тривалість тесту T_d і кількість циклів відкриття клапана n_c . Робочі параметри електрогідравлічного клапана наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Робочі параметри електричного гідроклапана

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

Параметри для розрахунку:

Цикл подачі.

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

Частота пульсації:

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

Вживання рідини

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

Частота спрацьовування клапана

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

Графічне співвідношення, зображене на рисунку 3.5, було отримано з результатів проведеного дослідження.

Відсутність перешкод у характеристиці вказує на те, що електрогідравлічний клапан ефективно працює на високих частотах до 20 герц, з тривалістю імпульсу для відкриття клапана 80 мілісекунд. Це служить для підтвердження належної роботи гідравлічного клапана.

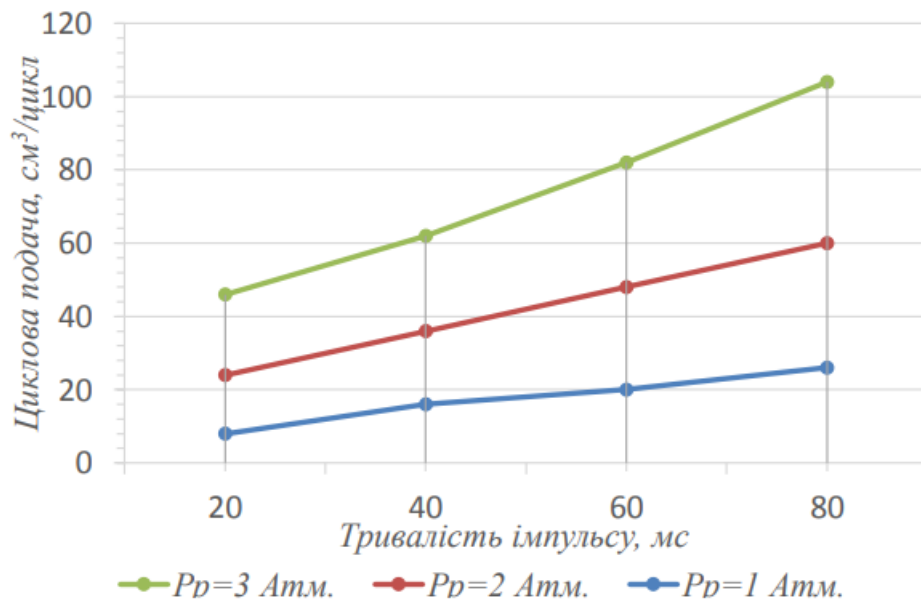


Рисунок 3.5 - Залежність циклової подачі рідини від тривалості імпульсу відкриття електро-гідро клапана

3.5 Дослідження мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату

Створено лабораторний стенд для дослідження роботи мехатронної системи регулювання точності висівного апарату (рис. 3.6).

Безперервно обертовий диск, оснащений осередками 1, емулює нескінченну лінію. Процес висіву в насіннєвловлювачі 12 виконується за висівними мітками 3, які фіксуються датчиком руху 11. Датчик передає сигнал на модуль керування 9, який у подальшому формує сигнал для активації пневматичного клапана, дозволяючи стисненому повітрю проштовхувати насіння в насіннєвловлювач.

Регулюючи напругу джерела живлення, електропривод диска 1 дозволяє вибрати частоту обертання в діапазоні від 1 до 80 с⁻¹, тим самим сприяючи частоті висіву від 0,2 до 16 Гц. Робота стенду починається з конфігурації основних параметрів, які включають кількість насіння, частоту посіву, тиск у резервуарі для рідини 13 і концентрацію насіння в камері для відбору проб. Кожен експеримент проводять у трьох повторях із записом середнього значення. Для кожного окремого дослідження встановлюється загальна кількість 500 насінин. У дослідженні для експерименту використовується насіння капусти.

Ми оцінюємо ефективність мехатронного керування та системи керування висівним апаратом шляхом зіставлення попередньо визначеної кількості висіяного насіння з фактично висіяною кількістю.

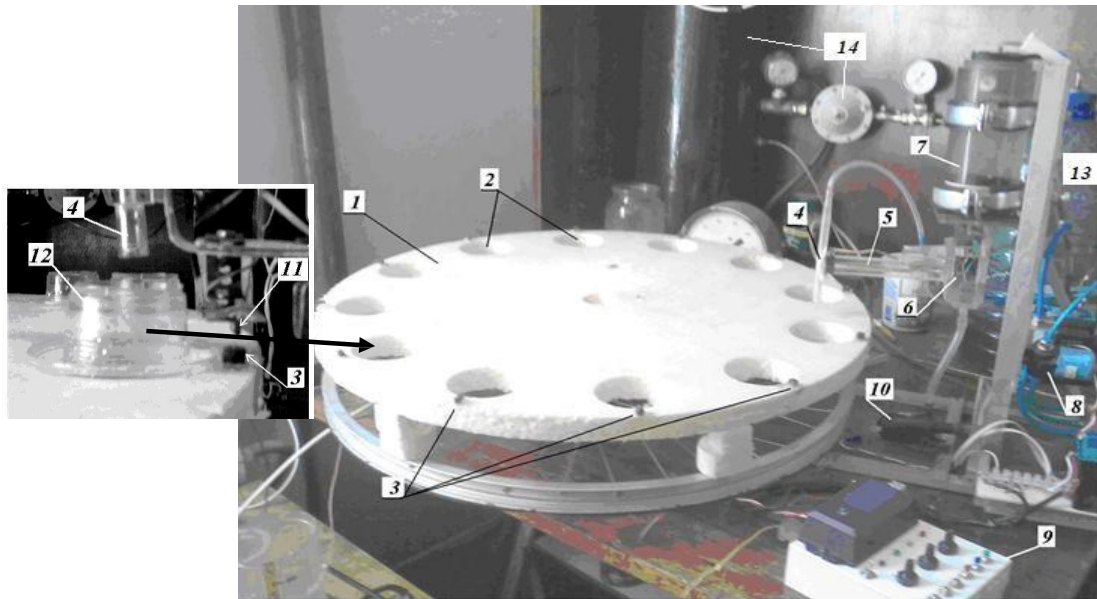


Рисунок 3.6 - Стенд дослідження мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарата:

Відповідно до встановленої методики буде проведено дослідження мехатронної системи за багатофакторним проектом 3×27 . Враховуючи теоретичні дослідження, ми визначили основні фактори — конструктивні, технологічні та режимні — для вивчення їх впливу на якість мехатронної системи. Ця якість буде оцінюватися через точність висіву, яку досягає висівний пристрій гідравлічної сівалки. Значення параметрів (факторів) представлені в таблиці 3.3, а результати дослідження деталізовані в таблиці 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 багатофакторного експерименту план 3×27

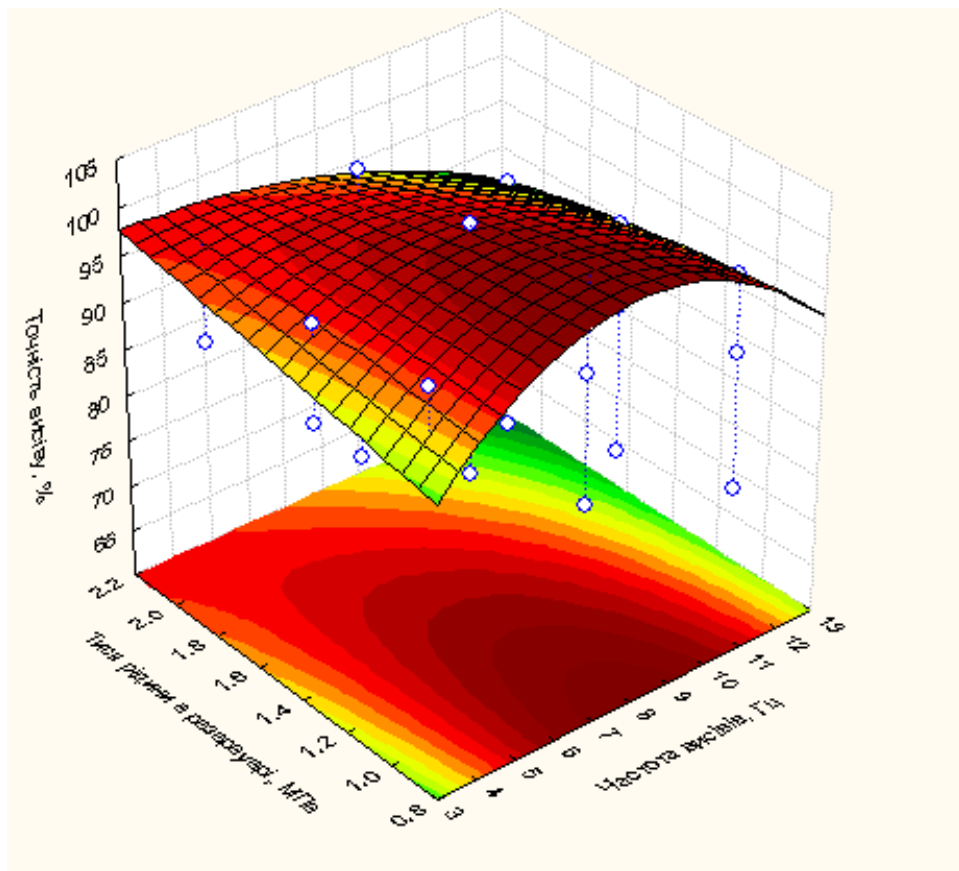
№ дослідду	Фактори			Критерій оптимізації		
	Частота висівів, f_v	Концентрація насіння, k_n	Тиск рідини, P_p	Точність висіву T_v , %		
				Експер.	Теор.	Відх.
	x_1	x_2	x_3	y_E	y_T	-
1	-1	-1	-1	93	92,5	-0,5
2	-1	-1	0	92,3	91,9	-0,4
3	-1	-1	1	98,2	95,8	-2,4
4	-1	0	-1	96,7	96,8	0,1
5	-1	0	0	95,2	97,4	2,2
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

Результати багатфакторного експерименту аналізували за допомогою програмного комплексу «Статистика-10». На основі цього аналізу була отримана математична модель у декодованому форматі, яка ілюструє зв'язок між точністю

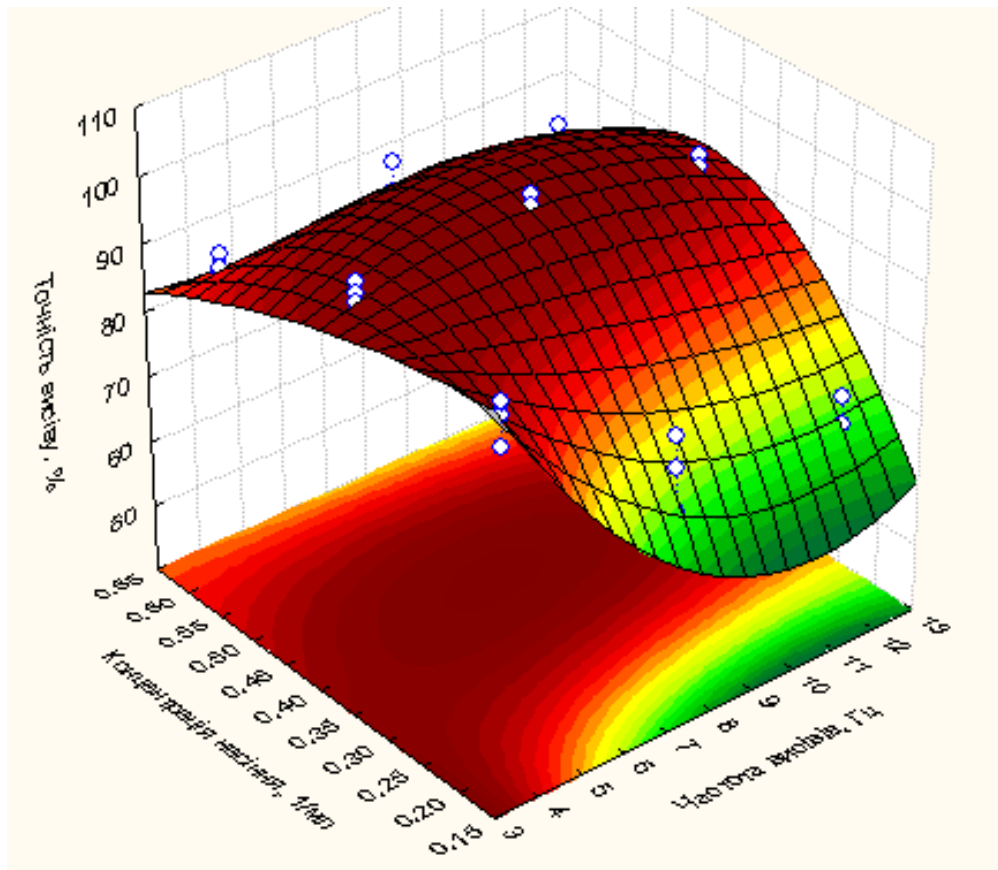
висіву гідросівалки T_B та її основними параметрами: частотою висіву (f_B), концентрацією насіння (k_H) і тиском рідини в резервуарі (P_P).

$$T_B = 192,83 - 35,614 \cdot f_B + 1,774 \cdot f_B^2 - 581,5 \cdot k_H + 645,55 \cdot k_H^2 + 5,5 \cdot P_P + 1,622 \cdot P_P^2 + 196,07 \cdot f_B \cdot k_H - 207,45 \cdot f_B \cdot k_H^2 - 10,27 \cdot f_B^2 \cdot k_H + 11 \cdot f_B^2 \cdot k_H^2 - 2,567 \cdot f_B \cdot P_P - 0,667 \cdot f_B \cdot P_P^2 + 0,144 \cdot f_B^2 \cdot P_P + 0,029 \cdot f_B^2 \cdot P_P^2 + 92,5 \cdot k_H \cdot P_P - 21 \cdot k_H \cdot P_P^2 - 192,5 \cdot k_H^2 \cdot P_P + 51,66 \cdot k_H^2 \cdot P_P^2 \quad (3.8)$$

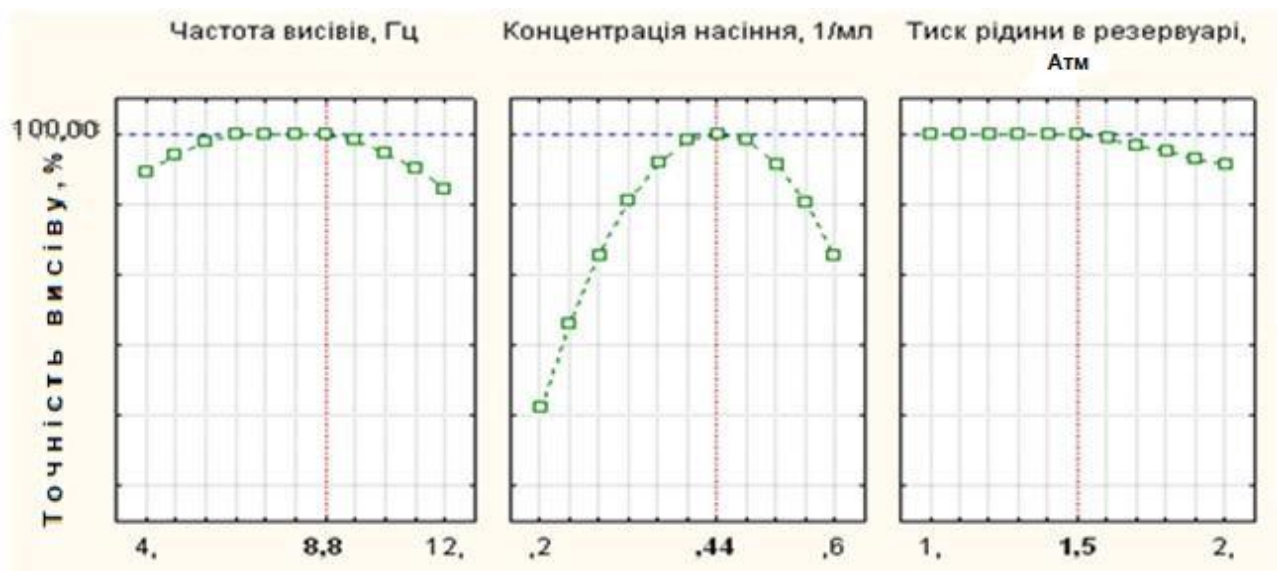
Програма «Статистика-10» використовується для встановлення оптимальних значень факторів, які забезпечать найвищий рівень точності висіву. Результати цієї оптимізації представлені на рисунку 3.7.



А



б



в

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

Висновки

Дослідженнями встановлено, що використання дозувального пристрою майже подвоює енергоефективність приводу насоса з 5...8 Вт до 3,6 Вт. Коефіцієнт ежекції коливався від 1,8 до 2,2, таким чином гарантуючи надійний однозатравний відбір і подальше дозування окремих насінин у ствол висівного компонента в рамках МС висівного пристрою.

Дослідження показали, що немає перешкод у робочих характеристиках електрогідроклапана, що свідчить про його ефективну роботу на високих частотах до 20 Гц, з тривалістю імпульсу відкриття 80 мс для електрогідроклапана.

За результатами багатofакторного експерименту проведено обґрунтування параметрів мехатронної системи, що використовується для регулювання точності роботи висівного апарату гідравлічної сівалки. Для забезпечення оптимальної точності висіву встановлювали конкретні значення (параметри) факторів, серед яких частота висіву $f_b = 8,8$ Гц, концентрація насіння $k_n = 0,44$ 1/мл, тиск рідини в резервуарі $P_p = 1,5$ МПа.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці під час експлуатації та обслуговування агротехніки, зокрема гідросівалок, має надзвичайно важливе значення, оскільки робота з мехатронними системами та механічними агрегатами може супроводжуватися низкою потенційних небезпек. У цьому розділі розглянемо основні ризики, пов'язані з експлуатацією висівного апарату гідросівалки, а також методи їх попередження та мінімізації.

Основні небезпеки під час роботи з агрегатами:

1. Механічні небезпеки. Робота з гідросівалками та висівними апаратами пов'язана з ризиками отримання травм через рухомі елементи механізмів, обертові частини, ланцюгові передачі та приводи. Механічні пошкодження можуть статися внаслідок ненавмисного контакту з обертовими або рухомими деталями під час налаштування, технічного обслуговування чи ремонту апарату.

2. Електричні ризики. Мехатронна система висівного апарату включає в себе електронні компоненти, які працюють під напругою. Несправність у роботі електрообладнання може призвести до короткого замикання, електротравм або навіть займання.

3. Вібрації та шум. Під час експлуатації гідросівалок можливі високі рівні вібрації та шуму, які можуть негативно впливати на здоров'я оператора. Постійне перебування в умовах підвищеного рівня шуму може призвести до втрати слуху, а вібрації — до пошкоджень суглобів та кісткової системи.

4. Ризик ураження хімічними речовинами. Висівний апарат гідросівалки може використовуватися в комплексі з системами внесення рідких добрив або пестицидів. Контакт з хімічними речовинами може викликати опіки, подразнення шкіри, дихальних шляхів або інші шкідливі впливи на здоров'я.

5. Небезпека під час транспортування та маневрування. Під час транспортування гідросівалок або маневрування на полі існує ризик перекидання техніки або наїзду на працівників, що може призвести до серйозних травм.

6. Теплове навантаження. Операція на відкритому повітрі, особливо в спекотну погоду, може призводити до перегріву організму оператора, що знижує його працездатність і підвищує ризик нещасних випадків.

Заходи для зменшення ризиків:

1. Забезпечення захисних огорожень. Для запобігання контакту з рухомими частинами висівного апарату необхідно встановлювати захисні огороження та екрани на небезпечних ділянках. Огороження повинні бути достатньо міцними і надійними для того, щоб оператор не міг випадково торкнутися рухомих механізмів.

2. Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Оператори та працівники, які обслуговують висівні апарати, повинні обов'язково використовувати засоби індивідуального захисту, такі як захисні окуляри, рукавички, протишумні навушники або беруші для зменшення впливу шуму, а також спеціальний одяг і взуття для запобігання механічним травмам.

3. Електробезпека. Важливо проводити регулярне технічне обслуговування та перевірку електрообладнання на наявність несправностей. У разі ремонту або налаштування мехатронних систем необхідно знеструмити всі електронні компоненти та дотримуватися правил роботи з електроприладами.

4. Зменшення рівня шуму та вібрацій. Для зменшення впливу вібрацій і шуму слід використовувати спеціальні вібропоглинаючі матеріали в конструкціях апарату та регулярну профілактику механізмів. Оператори повинні обмежувати час безперервної роботи на апараті для запобігання розвитку професійних захворювань.

5. Хімічний захист. При роботі з добривами та пестицидами необхідно забезпечити належну герметизацію систем подачі хімічних речовин,

використовувати ЗІЗ, такі як респіратори та захисний одяг, а також працювати у добре провітрюваних умовах або на відкритому повітрі.

6. Навчання персоналу. Важливо проводити інструктажі та навчання операторів і технічного персоналу щодо правил безпеки під час експлуатації гідросівалок та висівних апаратів. Персонал повинен знати порядок дій у разі аварійної ситуації, перші кроки щодо надання першої допомоги та евакуації.

Таким чином, дотримання правил охорони праці при роботі з гідросівалками та мехатронними системами висіву є критично важливим для забезпечення безпечних умов праці. Регулярна профілактика обладнання, використання засобів індивідуального захисту та проведення інструктажів дозволяють мінімізувати ризики для здоров'я і життя працівників, підвищуючи ефективність і безпеку сільськогосподарських робіт.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Буде проведена економічна оцінка запропонованого методу посіву шляхом порівняння його з класичною технікою сухого посіву, яка називається базовим методом, та інноваційним підходом посіву в рідину, який називається експериментальним методом. Традиційна технологія обробітку овочевих культур включає ранньовесняне боронування боронами БЗСС-1,0 з наступним обробітком на глибину 8–10 см культиватором КПС-4, укомплектованим боронами БЗСС-1,0. Для посіву насіння овочевих культур застосовуються сівалки точного висіву.

Догляд за посівами проводять на культиваторах КРН-4,2 або КОР-4,2, які агрегатуються з трактором МТЗ-80.

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

Ефективність висівного агрегату:

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

Річні операційні витрати будуть визначені за такою формулою:

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

Витрати, пов'язані із заробітною платою:

$$B_{\text{он}} = 3 + H_3, \quad (5.3)$$

Визначення фонду оплати праці:

$$3 = N_n \cdot t_{\text{доб}} \cdot D \cdot C_{\text{год}}, \quad (5.4)$$

Відрахування на амортизацію:

$$A = \frac{B_m \cdot \alpha \cdot t_{\text{доб}} \cdot D}{100 \cdot D \cdot Z \cdot t} \quad (5.5)$$

Відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування:

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

Витрати, пов'язані з РММ, визначаються за такою формулою:

$$B_{\text{лмм}} = 3_{\text{лмм}} \cdot Ц_{\text{лмм}}, \quad (5.7)$$

Витрати, віднесені до категорії інших витрат складають 5% загальних операційних витрат:

$$IB = \frac{B_{\text{он}} + A + T + B_{\text{рес}}}{100} \cdot 5, \quad (5.8)$$

Річний фінансовий ефект від зменшення операційних витрат:

$$E_{EP} = B_{\text{ексБ}} - B_{\text{ексЕ}}, \text{ грн}, \quad (5.9)$$

Економічний ефект, враховуючи підвищення продуктивності:

$$E_p = (E_{EP} + E_{BP}) = 2820 + 35920 = 38740, \text{ грн/га}, \quad (5.10)$$

Тривалість, необхідна для окупності початкових інвестицій, розраховується за такою формулою:

$$T_o = \frac{B_m}{E_p} = \frac{29885,24}{38740} = 0,77 \text{ року} \quad (5.11)$$

У таблиці 5.2 наведені показники економічної діяльності.

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		

За результатами оцінки проекту встановлено ефективність розробленої мехатронної системи регулювання точності висівного апарату, а також

практичність впровадження гідропосіву насіння овочевих культур. Це підтверджено річною економічною вигодою в сумі 38740 грн. Економічна перевага була результатом підвищення продуктивності на 14,2%, досягнутого завдяки застосуванню мокрого способу висіву пророщеного насіння та підвищенню точності посіву завдяки гідросівалці. Термін окупності проекту визначено 0,77 року.

ВИСНОВКИ

Процес гідропосіву пророщеного насіння сприяє появі сходів овочевих культур на термін від 7 до 14 днів. Цей прискорений ріст дозволяє виробляти міцну, здорову розсаду, що в кінцевому підсумку призводить до підвищення врожайності вирощуваних культур.

Проблему нерівномірного висіву в гідросівалках можна вирішити за допомогою впровадження мехатронних систем, призначених для підвищення точності висівного апарату в гідросівалках, використовуючи дозуючий пристрій, який сприяє точному посіву овочевих культур одним насінням.

Була розроблена мехатронна система для підвищення точності висівного пристрою, а також механізм дозування для відбору окремих насінин, що полегшує точний висів гідросівалкою. Встановлено параметри, пов'язані з конструкцією, технологією та режимами роботи мехатронної системи, а саме загальна тривалість робочого циклу $t_{\text{ц}} = 0,13 \dots 0,145$ с. Гідравлічна сівалка працює зі швидкістю руху $V_v = 0,51$ км/год при висіві насіння з інтервалом 2 см і $V_v = 8,82$ км/год при відстані 40 см між насінням. Крім того, частота спрацьовування електропневматичного клапана, відома як частота висіву, становить $f_v = 7,14$ Гц, а максимальний робочий тиск повітря для висіву насіння фіксується при $P_P = 0,135 \dots 0,16$ МПа.

Встановлено, що критичні швидкості, необхідні для утворення псевдозрідженого шару, знаходяться в діапазоні від 0,001 до 0,162 м/с, що відповідає концентрації затравки від 0,2 до 0,6 л/мл.

За результатами експериментальних досліджень:

Встановлено, що застосування дозатора призводить до зниження споживаної потужності приводу насоса з 5...8 Вт до 3,6 Вт. Коефіцієнт ежекції змінюється від 1,8 до 2,2, що сприятиме надійному однозатравному відбору та подальшому дозуванню окремих насінин у ствол висівного компонента в рамках мехатронної системи висівного апарату. Крім того, обґрунтовано параметри

мехатронної системи регулювання точності висівного апарату гідравлічної сівалки. Для досягнення оптимальної точності висіву встановлені необхідні значення впливаючих факторів (параметрів), а саме: частота висіву $f_v = 8,8$ Гц, концентрація насіння $k_n = 0,44$ 1/мл, тиск рідини в резервуарі ПР. = 1,5 МПа.

Результати оцінки проекту встановили ефективність мехатронної системи, призначеної для підвищення точності висівного апарату та продемонстрували життєздатність гідропосіву насіння овочів, про що свідчить річний економічний ефект у сумі 38 740 грн. Ця економічна перевага була реалізована завдяки збільшенню продуктивності на 14,2% в результаті застосування мокрого методу висіву пророщеного насіння, а також покращеної точності висіву, досягнутої гідросівалкою. Термін окупності проекту визначено 0,77 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барабаш, Р. І. (2021). *Обґрунтування виробничої структури пунктів технічного обслуговування тракторів ХТЗ* (Doctoral dissertation, Львівський національний аграрний університет).
2. Труханська, О. О. (2020). Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.-Вінниця, 2018.-№ 3 (102)-С. 52-61.*
3. Борисюк, Д. В., & Зелінський, В. Й. (2017). Методика розрахунку економічної ефективності впровадження технічного діагностування тракторів. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики, (5), 135-142.*
4. Грицаєнко, Г. І., & Грицаєнко, І. М. (2020). РОЗВИТОК АГРАРНОГО ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТА РИНКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ УКРАЇНИ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор, 105.*
5. Аулін, В. В., & Замота, О. М. (2017). *Економічна ефективність системи технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки з елементами прогнозування* (Doctoral dissertation, ТНТУ).
6. Устюянов, П. Д., Домуші, Д. П., Супрунюк, В. П., & Гуславський, А. В. (2022). ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОГО СТАНУ ТЕХНІКИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та, 309.*
7. Лесюк, В. С., & Калініченко, О. В. (2020). ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор, 274.*

8. Адамчук, В., Камінський, В., Булгаков, В., & Надикто, В. (2022). Теоретичне дослідження та розроблення нового показника інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт. *Вісник аграрної науки*, 100(4), 57-63.

9. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Троханяк, О., & Чорна, Т. (2023). Теоретичне дослідження стійкості руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату. *Вісник аграрної науки*, 101(5), 57-64.

10. Товстенко, В. (2021). Удосконалення технічного обслуговування та ремонту машинно-тракторного парку в майстерні фермерського господарства «Славутич» Веселівського району Запорізької області: пояснювальна записка до дипломної роботи здобувача СВО Бакалавр.

11. Домуці, Д. П., Яковенко, А. М., Осадчук, П. І., Ліпін, А. П., Житков, С. С., & Павлішин, П. М. (2020). РЕМОНТ ТРАКТОРІВ І АВТОМОБІЛІВ: навч. посібн.: у 2-х кн.–Кн. 1.

12. Іванов, Б. О., & Тітова, Л. Л. (2022). СТАН СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ НАДІЙНІСТЬ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ. *Збірник тез доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції «HSEAgro–2022»*. 8-9 лютого 2022 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Науково-виробничий журнал «Промислова безпека», Державна служба України з питань праці. Київ. 2022. 186 с., 119.

13. Василенко, М. О., Шаповал, Л. І., & Соколенко, О. М. (2017). Обґрунтування строків проведення ремонтно-обслуговуючих робіт мобільної сільськогосподарської техніки з використанням стратегії адаптивного технічного обслуговування і ремонту. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха, 245-255.

14. Галич, І. В. (2019). Аналіз джерел вібрацій та коливань елементів машинно-тракторного агрегату. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, (30), 72-79.

15. Антощенко, Р. В., & Антощенко, В. М. (2016). Дослідження енергетичних параметрів функціонування багатоелементних машинно-тракторних агрегатів. *Інженерія природокористування*, (2), 105-112.

16. Сіренко, Ю. В., & Сілюченко, В. М. (2022). ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01-25 листопада 2022 р.)/ТДАТУ: ред. кол., СВ Кюрчев, ВМ Кюрчев, ВТ Надикто, ОГ Скляр [та ін.]– Запоріжжя: ТДАТУ, 2022.–239 с. У збірнику представлені матеріали міжнародної науково-практичної, 56.*

17. Антощенко, Р. В., Лебедєв, А. Т., & Антощенко, В. М. (2017). Керування енергетичними витратами машинно-тракторного агрегата. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів»*, (7), 172-179.

18. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Кюрчев, В., & Камінський, В. (2022). Дослідження впливу ширини захвату машинно-тракторного агрегату на його експлуатаційні показники. *Вісник аграрної науки*, 100(10), 29-36.

19. Dnes, V., Kudrynetskyi, R., & Skibchyk, V. (2020). Методичні засади визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research*, (24), 77-82.

20. Бакляк, І. В. (2021). ПЛАНОВО-ЗАПОБІЖНА СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*, 465.

ДОДАТКИ

Додаток А