

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему

Підвищення точності висіву насіння овочевих культур шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідравлічної сівалки

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-3-24

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Авраменко Василь Анатолійович

Керівник: _____ Бойко Владислав Борисович

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**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)

«___» _____ 2025 р.

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

Авраменку Василю Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення точності висіву насіння овочевих культур шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідравлічної сівалки керівник роботи Бойко Владислав Борисович к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«24» жовтня 2025 року № 3182

2. Строк подання студентом роботи 9.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Науковий звіт кафедри ТСГМ за темою 0117U004545. Технічна характеристика мостової машини, агровимоги до процесу посіву насіння овочевих культур.

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

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 3.09.2025 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 16.09.2025 р.	Виконано
2	Теоретичний	до 20.10.2025 р.	Виконано
3	Експериментальний	до 10.11.2025 р.	Виконано
4	Охорона праці	до 19.11.2025р.	Виконано
5	Економічний	до 22.11.2025 р.	Виконано
6	Демонстраційна частина	до 7.12.2025 р.	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Авраменко В.А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бойко В.Б.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Авраменко В.А. Підвищення точності висіву насіння овочевих культур шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідравлічної сівалки/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена підвищенню точності посіву овочевих культур шляхом удосконалення процесу подачі насіння потоком робочої рідини та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідравлічної сівалки. Основною ідеєю дослідження є використання гідропотоку як активного середовища для транспортування насіння від дозувального елемента до місця укладання у ґрунт, що забезпечує мінімальні втрати, рівномірність розподілу й стабільну глибину загортання.

У роботі розроблено конструкцію гідравлічної сівалки, інтегрованої до мостової машини довжиною 18 м із сумарною потужністю електроприводів 4 кВт. Створено модель формування та стабілізації псевдозрідженого шару в насіннєвій камері, що дає змогу визначити оптимальні параметри потоку – швидкість, витрату рідини, кут подачі та концентрацію насіння у робочому середовищі. На основі експериментальних даних визначено раціональні параметри гідравлічної сівалки, що забезпечують рівномірність розподілу насіння до 96 %.

Ключові слова: гідросівалка, точне землеробство, гідропотік, псевдозріджений шар, мостова машина, рівномірність посіву, овочеві культури.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	12
1.1 Особливості процесу посіву овочевих культур	12
1.2 Аналіз сучасного стану технологій точного висіву овочевих культур	15
1.3 Особливості координатного посіву у системах мостового землеробства	20
1.4 Висновки	24
1.5 Мета і завдання досліджень	25
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1 Конструктивні рішення	26
2.2 Теоретичні основи руху насіння у рідинному потоці	30
2.3 Вплив фізико-механічних властивостей насіння	33
2.4 Теоретичні основи утворення псевдозрідженого шару	34
2.5 Теоретичні дослідження параметрів дозатора насіння гідравлічної сівалки	38
2.6 Теоретичне визначення продуктивності гідросівалки	43
2.7 Висновки	48
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	49
3.1 Мета, завдання та об'єкт експериментальних досліджень	49
3.2 Дослідження швидкості переміщення насінини у дозаторі	52
3.3 Експериментальні польові дослідження точності висіву гідросівалки	55
3.4 Висновки	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
4.1 Аналіз умов праці та виробничих небезпек під час роботи гідравлічної сівалки у складі агромоста	60
4.2 Охорона праці при експлуатації гідросівалки в складі мостової машини	63

4.3 Дії персоналу в аварійних та надзвичайних ситуаціях	65
4.4 Висновки	67
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ	68
5.1 Загальна характеристика та методика оцінювання ефективності гідросівалки	68
5.2 Техніко-технологічні показники роботи гідросівалки	68
5.3 Розрахунок польової продуктивності гідросівалки	70
5.4 Економічні показники роботи гідросівалки	70
5.5 Висновки	75
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78
ДОДАТКИ	82

ВСТУП

Актуальність теми.

Сучасне овочівництво потребує інноваційних рішень, які одночасно підвищують точність технологічних операцій, зменшують витрати ресурсів і забезпечують екологічну стійкість виробництва. У системі точного землеробства якість посіву визначає густоту стояння, рівень конкуренції між рослинами та майбутню врожайність. Для культур на кшталт капусти, цибулі, томатів, редису й перцю критично важливими є дотримання глибини та інтервалів розміщення насіння, а також збереження його життєздатності під час технологічного впливу [1].

Один із перспективних шляхів підвищення точності – гідравлічний висів, коли насіння подається потоком робочої рідини. Насіння перебуває у рідинній суспензії (пульпі), рівномірно перемішується у забірній камері й транспортується по насіннепроводах до сошника. Такий підхід зменшує механічні ушкодження, стабілізує дозування на змінних швидкостях руху машини та, що особливо важливо для овочів, дозволяє працювати з дрібним і легко травмованим насінням [1]. Додаткова технологічна перевага – можливість висіву проклюнутого насіння, що прискорює появу сходів; вода у складі робочої рідини формує у прикореневій зоні стартовий запас вологості, полегшуючи подальшу вегетацію [1].

Водночас ключовою проблемою гідросівалок залишається нерівномірність подачі насіння потоком рідини. Насіння відбирається із псевдозрідженого шару, який формується циркуляційним потоком або мішалками; процес має вірогідний характер, що спричиняє локальні флуктуації концентрації й швидкості частинок. На етапі транспортування по насіннепроводах можливі осідання, злипання та «хвилеві» коливання витрати, які порушують інтервали між насінами. Вирішенням є застосування додаткових пристроїв – стабілізаторів потоку,

регульованих гідроклапанів і дозаторів, а також оптимізація геометрії забірної камери та гідроліній [2].

Проблематика формування й підтримання потрібної концентрації насіння у пульпі, а також керованого псевдозрідження детально розглядається в сучасних дослідженнях гідропневматичних висівних апаратів. Показано, що коректний вибір способу збурення (барботажа, механічні мішалки, комбіновані схеми), параметрів потоку (швидкість, тиск, витрата) та конструкції забірної камери забезпечує стійкий режим, за якого насіння рівномірно надходить у потік і зберігає роздільність до сошника [2]. Додатково перспективною є інжекційна подача рідинно-насіневої суміші у ґрунт – підвищення локальної вологості в зоні укладання покращує енергію проростання, що підтверджено прикладними розробками у сфері рідинного інжекційного висіву [4-5].

Особливої актуальності тема набуває у зв'язку з розвитком мостового землеробства та застосуванням широкозахватних (wide-span) платформ. Мостові машини виконують операції над полем без ущільнення ґрунту, забезпечуючи стабільну геометрію поверхні, точне позиціонування робочих органів і можливість багаторазових проходів по сталих коліях. Дослідження wide-span/WS-CTF демонструють зменшення площі ущільнення, кращі умови для кореневої системи та зростання врожайності; такі платформи є природним носієм для координатного гідровисіву овочів [3].

З наукового погляду, актуальним є обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідросівалки, яка працює з рідинним потоком: побудова моделей руху насіння у пульпі, вибір режимів збурення для досягнення цільової концентрації без розшарування, розрахунок втрат тиску в гідролініях, налаштування гідроклапанів та дозаторів для синхронізації подачі з роботою сошника й швидкістю платформи. У практичній площині – це створення додаткових стабілізувальних вузлів і алгоритмів керування, що гарантують рівномірний розподіл насіння та точне укладання у ґрунт попри імовірнісну природу процесів у псевдозрідженому шарі [2].

Інтеграція гідросівалки у мостову агромашину довжиною 18 м із загальною потужністю електроприводів 4 кВт відкриває можливість реалізації координатного висіву за картами-завданнями, скорочення витрат насіння (до двозначних відсотків для дорогих гібридів), підвищення однорідності сходів і раннього старту вегетації за рахунок прокльонутого насіння та локальної вологи. Сукупність цих ефектів формує відчутний агроекономічний результат і відповідає трендам ресурсозбереження та екологізації виробництва [1–3].

Метою роботи є підвищення точності висіву овочевих культур шляхом теоретичного обґрунтування, моделювання та визначення конструктивно-технологічних параметрів гідравлічної сівалки, у якій подача насіння здійснюється потоком робочої рідини.

Завдання кваліфікаційної роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Провести аналіз сучасного стану конструкцій і принципів роботи гідравлічних та гідропневматичних сівалок для овочевих культур. Визначити основні чинники, що впливають на рівномірність подачі насіння у гідропотоці та формування псевдозрідженого шару.
2. Розробити конструктивну схему гідросівалки, адаптованої до мостової машини довжиною 18 м із електроприводом загальною потужністю 4 кВт.
3. Обґрунтувати параметри гідравлічної системи (тиск, витрату рідини, діаметр насіннепроводів, частоту перемішування), що забезпечують рівномірний розподіл насіння.
4. Провести теоретичне моделювання руху насіння у гідропотоці з урахуванням властивостей суспензії та розробити рекомендації щодо стабілізації дозування.
5. Оцінити агротехнічні показники якості висіву – рівномірність, глибину, густоту та енергію проростання насіння.
6. Оцінити економічну ефективність запропонованого рішення

Об'єкт дослідження. Процес висіву насіння овочевих культур у гідравлічній сівалці, у якій подача насіння здійснюється потоком робочої рідини.

Предмет дослідження. Конструктивно-технологічні параметри гідравлічної сівалки, що визначають рівномірність подачі насіння, стабільність гідропотоку, точність дозування та якість формування посівного шару.

Наукова новизна досліджень:

- Уперше для мостових машин обґрунтовано параметри гідравлічного висівного апарата, що забезпечує рівномірну подачу насіння потоком рідини.
- Уточнено закономірності формування псевдозрідженого шару насіння у рідинному середовищі та визначено вплив тиску, густини та швидкості потоку на рівномірність дозування.
- Запропоновано конструктивне рішення системи стабілізації розподілення насіння з використанням дозувальних гідроклапанів і напрямних каналів, яке підвищує точність висіву на 10–15 %.

Практичне значення кваліфікаційної роботи.

Отримані результати можуть бути використані під час проектування та експлуатації сівалок для точного овочівництва. Запропоновані конструктивні рішення дозволяють зменшити варіацію відстані між насінинами, скоротити витрати посівного матеріалу до 15 %, підвищити польову схожість і забезпечити дружні сходи. Реалізація гідравлічного способу висіву сприяє енергоощадності, екологічній безпеці та створенню умов для автоматизації процесів у мостових агромашинах системи точного землеробства.

Апробація. Авраменко В.А. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідравлічної сівалки. Збірник тез IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених (21 листопада 2025 р.). Частина 3. Інтенсифікація сільськогосподарського і харчового виробництва. Дніпро. ДДАЕУ, 2025.

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Особливості процесу посіву овочевих культур

Посів овочевих культур є однією з найвідповідальніших технологічних операцій у рослинництві, оскільки саме на цьому етапі формується рівномірність майбутніх сходів, густина стояння рослин і врожайність. Вибір способу посіву, глибини загортання, інтервалу між насінинами, вологості ґрунту та освітлення має бути адаптований до біологічних властивостей конкретної культури [1].

Різні овочеві культури мають специфічні потреби у волозі, температурі, а також відрізняються розміром і формою насіння, що визначає тип висівного апарата та спосіб внесення насіння у ґрунт. Для дрібнонасінних культур (морква, селера, капуста, томат) основними завданнями є забезпечення мінімального пошкодження насіння, стабільної глибини посіву (1–3 см) і запобігання злипанню або виносу насіння під час поливу [5].

Основні способи посіву. Залежно від культури, ґрунтово-кліматичних умов і технічних засобів застосовують такі способи посіву:

- Суцільний – використовується переважно для культур, що утворюють суцільний покрив (салат, шпинат, кріп). Насіння розподіляється рівномірно по всій площі; норма висіву висока, але відсутня можливість координатного розміщення рослин.
- Пунктирний (рядковий) – застосовується для культур, які потребують певної площі живлення (морква, буряк, капуста). Цей спосіб дає змогу зменшити норму висіву в 1,5–2 рази порівняно із суцільним і підвищує рівномірність розподілу [6].
- Гніздовий і стрічковий посів – використовуються при вирощуванні томатів, перцю, гарбузових культур. Відстань між гніздами зазвичай становить 25–50 см, міжряддя – 60–70 см, що забезпечує необхідну площу живлення.

- Гідравлічний (рідинний) посів – новітній метод, що базується на подачі насіння потоком води або поживного розчину. Цей спосіб особливо ефективний для прокльонутого насіння, оскільки забезпечує вологе середовище, рівномірне розподілення та швидке проростання [2]. Детально способи посіву наведено на рисунку 1.1.

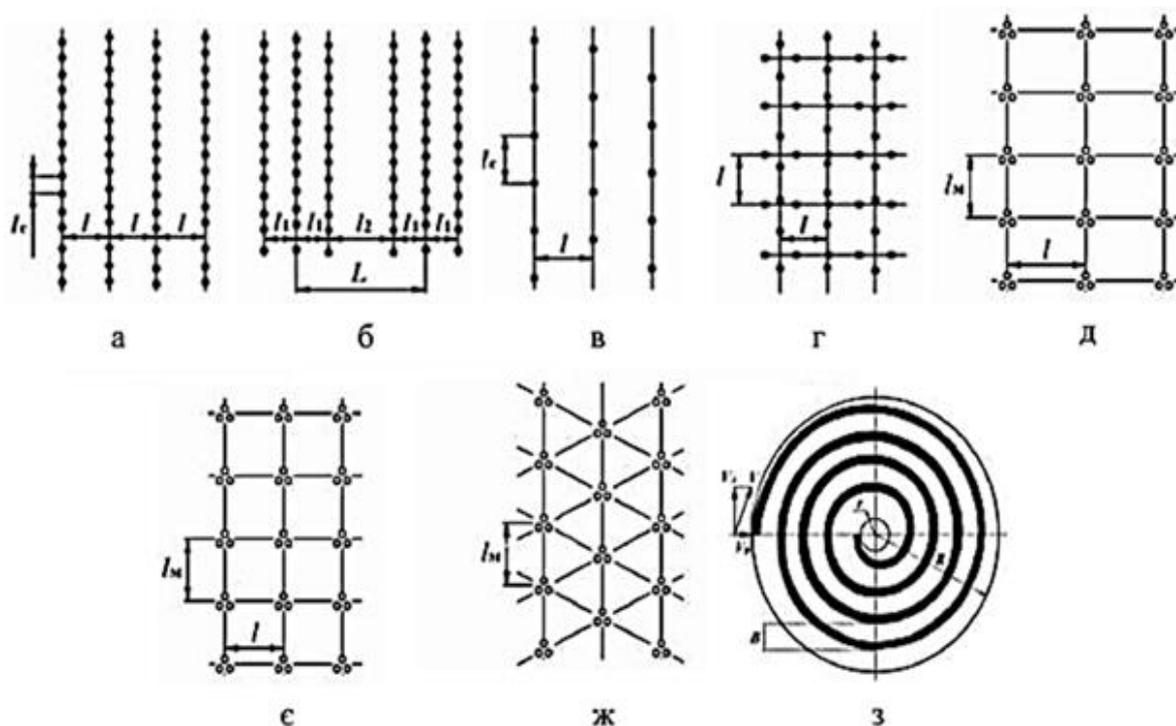


Рисунок 1.1 – Способи посіву

а – посів рядком ; б – посів стрічкою; в – посів пунктирним способом;
 г – посів перехресним способом; д – посів прямокутно-гніздовим способом; е – посів квадратно-гніздовим способом; ж – посів шаховим способом; з – посів по спіралі;

Оптимальна глибина висіву залежить від розміру насіння, типу ґрунту та його вологості. Для дрібнонасінних культур перевищення глибини загортання призводить до затримки сходів і зниження енергії проростання, тоді як надто мілкий посів може спричинити пересихання насіння або його винесення на поверхню під дією опадів.

- Капуста, томати, перець – 1,5–2,5 см.
- Морква, цибуля, редис – 1,0–1,5 см.
- Огірки, гарбуз, кабачки – 3–4 см на легких ґрунтах і 2–3 см на важких.

Дослідження гідродинамічних властивостей насіння овочів показали, що після набухання їхній об'єм збільшується у 1,5–1,9 рази, що необхідно враховувати під час проектування висівного апарата і вибору глибини загортання, аби уникнути деформації пророслого насіння

Площа живлення рослин визначається відстанню між рядками та інтервалом між насінинами. Для оптимального росту овочевих культур важливо, щоб коренева система не конкурувала за вологу і поживні речовини.

- Капуста – міжряддя 60–70 см, між рослинами 40–50 см, площа живлення 0,25–0,30 м².
- Перець солодкий, томат – 40×40 см, площа живлення 0,16 м².
- Цибуля, морква, редис – міжряддя 25–30 см, відстань у рядку 3–5 см.
- Огірок, гарбузові – міжряддя 70–90 см, у рядку 20–30 см.

При точному посіві відхилення від заданого інтервалу не повинно перевищувати ±10 %. Для досягнення цього рівня точності у сучасних сівалках використовуються координатні системи позиціювання або дозування насіння потоком рідини, який мінімізує випадковість руху частинок [2; 6].

Вологість ґрунту є одним із головних факторів, що визначає успіх посіву. Для більшості овочевих культур оптимальна вологість становить 70–80 % найменшої вологоємності (НВ). Недостатня кількість вологи сповільнює набухання насіння, тоді як надмірна – зменшує доступ повітря і може спричинити загнивання.

Встановлено, що при гідравлічному способі посіву вода, яка подається разом із насінням, створює локальний резерв вологи, що підтримує сприятливі умови у початковий період вегетації [2]. Температурний режим для проростання основних культур:

- капуста – +10...+15 °С,
- томати, перець – +20...+25 °С,
- морква, цибуля, редис – +12...+18 °С.

У випадку висіву пророслого насіння, як показано у дослідженнях [7], енергія проростання капусти досягає 100 %, томатів – 99–100 %, перцю – 98 %, що на 12–19 % вище порівняно з сухим методом висіву.

Інтенсивність освітлення та довжина дня істотно впливають на проростання та початковий ріст сходів. Більшість овочевих культур є світлолюбними. Для рівномірного розвитку необхідно забезпечити освітленість не менше 8–10 тис. лк протягом 10–12 годин на добу. Недолік світла уповільнює фотосинтез і спричиняє витягування рослин. У тепличних умовах застосовують додаткове освітлення світлодіодними лампами з переважанням червоного спектра.

1.2 Аналіз сучасного стану технологій точного висіву овочевих культур

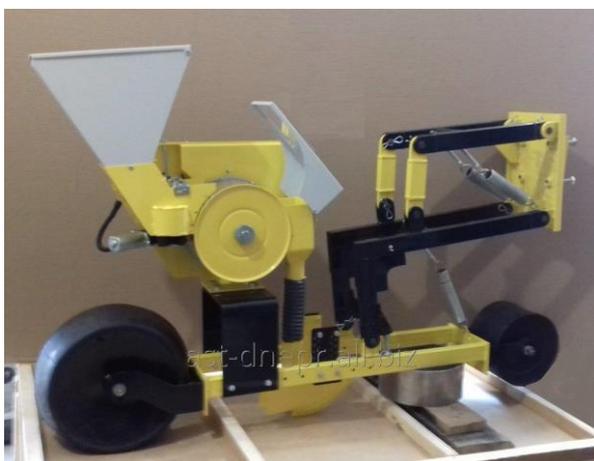
Розвиток сучасного рослинництва невід’ємно пов’язаний із підвищенням точності технологічних операцій, особливо процесу посіву. Саме від рівномірності розміщення насіння у рядку, стабільності глибини його загортання та забезпечення оптимальної густоти стояння залежить формування рівномірних сходів і майбутня врожайність овочевих культур. У традиційних технологіях посіву значна частина насіння розміщується нерівномірно через вібрації, зміну швидкості руху машини або нерівність ґрунту, що зумовлює перевитрати посівного матеріалу та зниження продуктивності посівних агрегатів [1].

У зв’язку з цим активно розвивається напрям точного землеробства, який базується на принципі координатного управління технологічними процесами. Його мета – забезпечити просторову точність розміщення насіння з мінімальним відхиленням від заданих координат. У більшості країн Європи, США та Японії технології точного посіву вже інтегровані у високопродуктивні системи машин,

оснащені GPS-навігацією, датчиками вологості ґрунту, оптичними сенсорами та системами автоматичного контролю глибини посіву. В Україні такі системи лише починають впроваджуватись, переважно в овочівництві закритого ґрунту та на високотехнологічних фермерських господарствах [6].

Пневматичні та механічні системи точного висіву. Найбільш поширеними в сільському господарстві залишаються пневматичні та механічні сівалки. Їх головною перевагою є простота конструкції, надійність і можливість регулювання норми висіву. Проте, як показують дослідження [3], навіть найсучасніші механічні апарати (дискові, барабанні, ложкові) мають значну варіацію міжнасінневих інтервалів – до 20–30 %, особливо при висіві дрібнонасінних культур, таких як морква, цибуля або редис.

Пневматичні апарати забезпечують вищу точність за рахунок відбору насіння вакуумом або надлишковим тиском. Прикладом є вітчизняна сівалка СВТВ-4 «Дніпрянка» (рис. 1.1), яка реалізує принцип однонасінневого відбору та пунктирного укладання насіння в борозну, досягаючи точності до 90 % [8].



а



б

Рисунок 1.1 – Посівна секція (а) та висівний апарат (б) сівалки точного висіву СВТВ-4

Аналогічні апарати виробляють фірми *Unia, Kuhn, MaterMacc, Maschio Gaspardo*, що свідчить про високий рівень розвитку цієї технології. Проте недоліком пневматичних систем є підвищене енергоспоживання, схильність до

пошкодження крихкого насіння і нестабільність роботи при зміні вологості або щільності повітря.



Рисунок 1.2 – Овочева сівалка точного висіву *Gaspardo OLIMPIA-4F* [9]

Крім того, більшість існуючих моделей пневматичних сівалок не здатні реалізувати координатний принцип посіву, коли насіння вкладається за визначеними просторовими координатами з урахуванням геометрії поля. Цей принцип потребує синхронізації руху робочих органів із навігаційними системами або сенсорними приладами, що є складним для механічних та пневматичних систем [2].

Гідравлічні технології висіву. Альтернативним підходом є гідравлічний (гідропневматичний) спосіб висіву, у якому насіння подається потоком рідини. Основна ідея полягає у формуванні псевдозрідженого шару, де частинки насіння рівномірно переміщуються з робочою рідиною за допомогою мішалок 14 (рис.1.3) або циркуляційного потоку (рис. 1.4), що створює насос 5 [7].



- 1 – резервуар
- 2 – одинісний 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 – механізм регулювання сошника
- 13 – вал мішалки
- 14 – лопатева мішалка
- 15 – лопаті
- 16 – гідромотором
- 17 – клинопасова передача

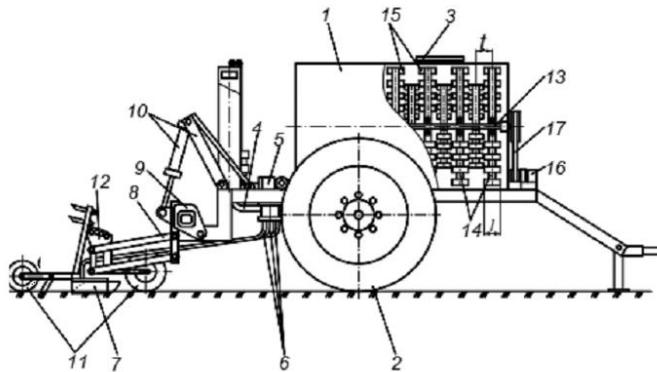


Рисунок 1.3 – Гідросівалка інституту овочівництва НААН [10]

Після стабілізації концентрації суспензії відбувається транспортування насіння потоком що проходить під тиском через клапан 6 дозуючий канал і насіннепровід 2 до сошника , де воно відкладається у борозну [2].

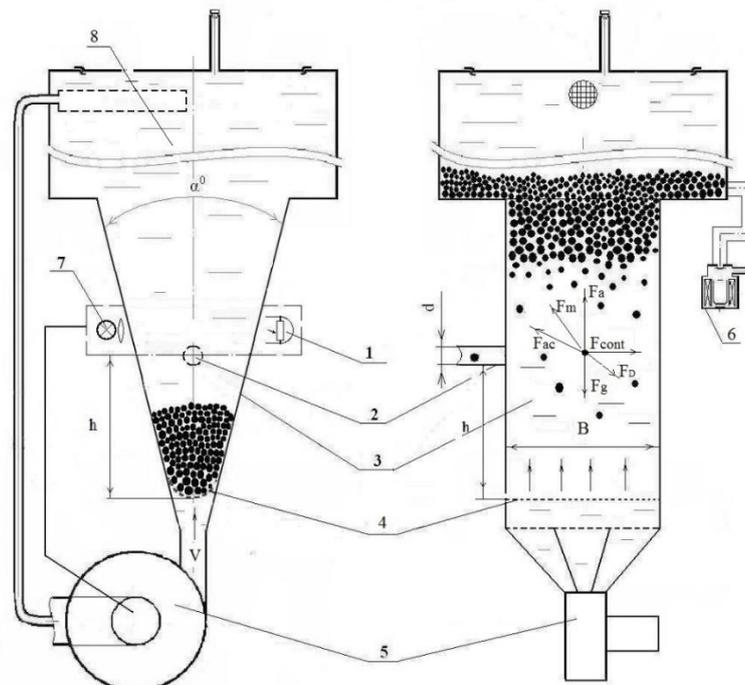


Рисунок 1.4 – Формування псевдозрідженого шару в гідросівалці ДДАЕУ

Такий метод має низку істотних переваг:

- відсутність механічного контакту насіння з робочими органами, що запобігає його травмуванню;
- можливість висіву прокльонутого насіння, що пришвидшує появу сходів на 2–3 дні;
- забезпечення первинного запасу вологи у зоні загортання, оскільки насіння вкладається разом із робочою рідиною;
- потенціал для автоматизації процесу через контроль тиску, витрати рідини та частоти подачі суспензії [4].

Водночас, як показано у дослідженнях В.І. Пастухова, В.Б. Бойка, Г.В. Теслюка та ін. [2], головною проблемою таких сівалок є нерівномірність висіву насіння потоком рідини. Через випадковий характер руху насіння у псевдозрідженому шарі частинки можуть групуватись або осідати, що призводить до зміни концентрації суспензії в зоні забору. Це, своєю чергою, викликає коливання інтенсивності подачі насіння його розподілу у насіннепроводі і знижує точність посіву (рис. 1.5).

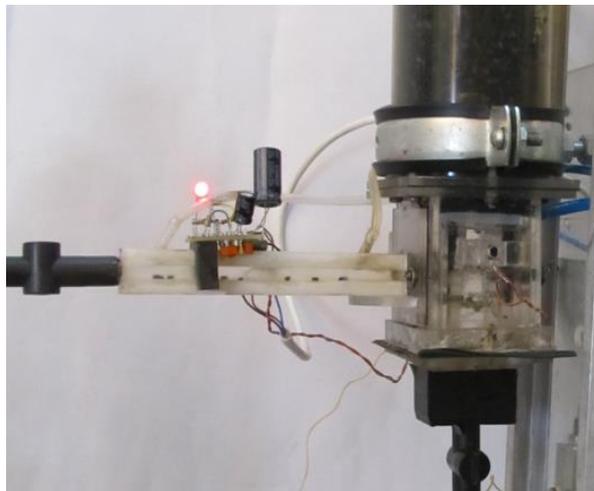


Рисунок 1.5 – Нерівномірність розподілу насіння в насіннепроводі гідросівалки ДДАЕУ [2]

Вирішити цю проблему можна шляхом використання стабілізаторів потоку, гідроклапанів і систем автоматичного дозування, що коригують тиск і швидкість циркуляції рідини [4].

Впровадження точного висіву в мостових системах землеробства. Новим етапом у розвитку технологій точного висіву є поєднання гідравлічних систем із мостовими машинами (wide-span tractors). Такі платформи рухаються над поверхнею поля по сталих коліях, що повністю виключає ущільнення ґрунту та забезпечує стабільне позиціонування робочих органів. Завдяки цьому зникає потреба у складних навігаційних алгоритмах – координати руху задаються жорстко фіксованою колією мостової конструкції [3].

Розробка гідравлічної сівалки для мостової машини довжиною 18 м із електроприводом потужністю 4 кВт створює можливість реалізувати точний координатний посів без застосування складних пневматичних систем. Потік рідини може бути стабілізований за рахунок електронного регулювання тиску та витрати, що забезпечує високу рівномірність подачі насіння навіть при зміні швидкості руху агрегату.

Крім того, застосування електроприводу та датчиків контролю потоку дозволяє інтегрувати гідросівалку до автоматизованої системи управління мостової машини, що відкриває шлях до повної роботизації процесу висіву овочевих культур. За результатами досліджень у сфері точного землеробства [5], саме гідравлічні системи мають найбільший потенціал для майбутньої інтеграції з системами комп'ютерного зору, моніторингу сходів і корекції густоти стояння рослин у режимі реального часу.

1.3 Особливості координатного посіву у системах мостового землеробства

Одним із ключових напрямів розвитку точного землеробства є створення автоматизованих систем посіву, здатних забезпечувати високу точність просторового розміщення насіння та мінімальний вплив на ґрунт. Мостові агромашини, або широкопрогонові трактори, створюють передумови для реалізації нової концепції координатного висіву – такого, що здійснюється в

межах власної координатно-транспортної системи поля, без залежності від супутникової навігації [11].

Інтеграція гідравлічної сівалки до мостової платформи дозволяє поєднати переваги координатного позиціювання з унікальними властивостями гідравлічного способу висіву, зокрема можливістю роботи з пророслим насінням, стабільним розподілом у потоці рідини та формуванням локального вологого середовища у зоні висіву [2].

Координатно-транспортна система (КТС) [11] є базовим елементом мостової технології точного землеробства. Вона формується у вигляді жорстких напрямних колій, по яких пересувається агроміст. Ці напрямні визначають систему координат X–Y на полі, у межах якої всі технологічні операції виконуються з високою точністю позиціювання (рис. 1.6).

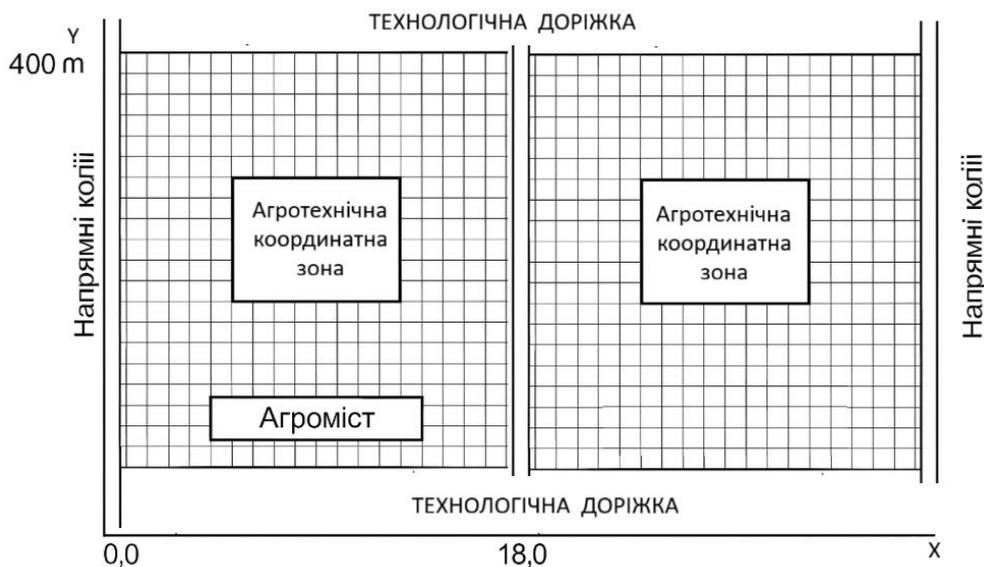


Рисунок 1.6 – Координатно-транспортна система

Завдяки цьому відпадає необхідність у використанні GNSS-навігації, оскільки положення мостової машини у полі точно фіксується її власними датчиками положення (енкодери лінійного переміщення, індуктивні сенсори положення ферми, лазерні далекоміри тощо). Таким чином формується локальна координатна мережа, у межах якої кожна точка посіву має наперед задані координати без похибок, характерних для супутникових систем ($\pm 2-5$ см) [3; 5].

Інтеграція гідросівалки в координатну систему агромота (рис. 1.5).

Гідросівалка, закріплена на робочій фермі мостової машини, отримує координатні сигнали від системи позиціювання агромота. Коли датчик положення реєструє досягнення заданої координати, контролер активує клапан гідросистеми, що подає порцію робочої рідини з насінням у насіннепровід. Насіння транспортується потоком рідини до сошника та рівномірно осідає у ґрунті.

Таким чином, момент висіву прив'язується не до часу чи швидкості руху, а до точного координатного сигналу. Це дозволяє забезпечити висів з просторовою похибкою не більше 1 см навіть при зміні швидкості руху мостової ферми.

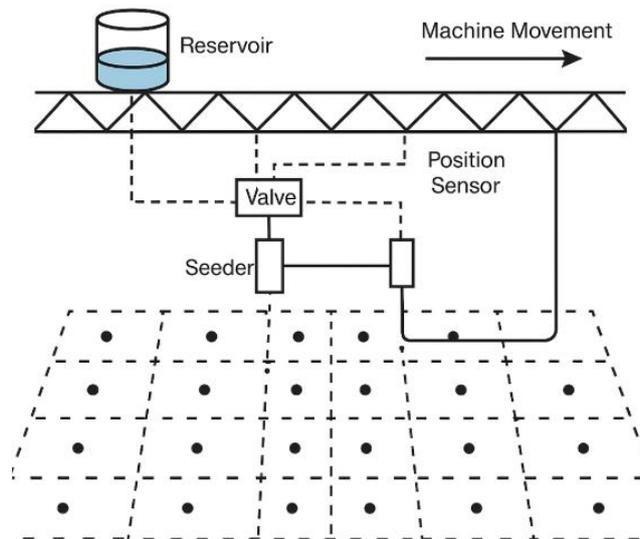


Рисунок 1.7 – Координатний висів гідросівалкою в агрегаті з агромотом

На відміну від звичайних гідросівалок, де висів має ймовірнісний характер через нестабільність потоку рідини, у запропонованій системі висів є координатно детермінованим. Контролер сівалки синхронізує роботу клапанів із сигналами позиціювання, компенсуючи затримку подачі рідини та коливання тиску в системі [2, 4, 7].

Гідравлічний спосіб забезпечує делікатне транспортування насіння у водному середовищі без механічного пошкодження. Це дозволяє висівати проросле насіння овочевих культур (капусти, томатів, перцю, цибулі, редису), що скорочує термін появи сходів на 5–7 днів [1, 2].

Вода, що подається разом із насінням, створює запас вологи у зоні посіву, що особливо важливо у посушливих регіонах або при весняному дефіциті опадів.

Використання системи координатного контролю дозволяє усунути ймовірнісні відхилення, характерні для звичайних гідросівалок, і забезпечити стабільну густоту стояння рослин [2].

Відсутність складної супутникової навігації зменшує вартість і спрощує обслуговування. Координація здійснюється за допомогою локальних датчиків руху ферми, розташованих безпосередньо в межах координатно-транспортної системи.

Можливість автоматизації і керування з центрального блоку агромота.

Всі сигнали від датчиків, гідроклапанів і контролерів об'єднуються єдиною системою управління, що дозволяє задавати параметри висіву, контролювати глибину, тиск рідини та координати подачі в реальному часі.

Координатно-транспортна система мостового землеробства має жорстку просторову прив'язку – рейкові колії, по яких пересувається агроміст, визначають абсолютну нульову лінію для всієї системи.

Далі вся площа поля розділяється на модульні координатні сітки (наприклад, 18×400 м), які відповідають ширині мостової машини та довжині гону агротехнічної зони.

Положення гідросівалки відносно ферми визначається лінійними енкодерами та оптичними або індуктивними датчиками, які передають сигнал контролеру. Висівна команда активується, коли вузол подачі насіння потрапляє у визначену точку координатної сітки.

Це дозволяє реалізувати висів за принципом “точка в точку”, тобто координатно-прив'язаний посів без впливу людського фактора [11].

Розробка гідросівалки, що працює у межах координатно-транспортної системи мостового землеробства, відкриває новий напрям у точному овочівництві.

Вона поєднує гідромеханіку руху рідини з елементами просторового моделювання, що дозволяє не лише підвищити точність висіву, а й досліджувати закономірності руху насіння в рідинному потоці, вплив тиску, густини та концентрації на результат розподілу.

Наукова новизна полягає у створенні координатно-керованої гідросівалки, яка працює без супутникової навігації, використовуючи локальні сигнали положення ферми, що забезпечує детермінований, відтворюваний висів пророслого насіння.

Завдяки поєднанню координатного керування і гідравлічної подачі насіння можливо:

- забезпечити інтелектуальне керування посівом, коли інтервал і норма висіву змінюються залежно від агрофізичних параметрів ґрунту;
- здійснювати посів у нічний час або при обмеженій видимості, оскільки координати задаються автономно;
- зменшити залежність технології від метеоумов і радіосигналів;
- інтегрувати гідросівалку в замкнений цикл мостового комплексу, який об'єднує посів, догляд і збирання врожаю у єдиній координатній системі.

1.4 Висновки

1. Аналіз сучасних технологій висіву показав, що традиційні механічні та пневматичні системи не забезпечують необхідної точності розміщення насіння, особливо при висіві дрібнонасінних овочевих культур. Гідравлічний спосіб подачі насіння рідинним потоком має переваги – рівномірне зволоження, можливість висіву пророслого насіння та зменшення механічних пошкоджень. Недоліком таких сівалок є випадковість розподілу насіння у псевдозрідженому шарі, що знижує точність.

2. Поєднання гідросівалки з координатно-транспортною системою мостового землеробства дозволяє усунути цю проблему. Жорстка фіксація

агромоста на напрямних коліях і координатне керування процесом подачі насіння забезпечують високоточний висів без використання супутникової навігації. Отже, перспективним напрямом є розробка координатно-керованої гідравлічної сівалки для систем мостового землеробства, що забезпечує детермінований і стабільний висів овочевих культур.

1.5 Мета і завдання досліджень

Метою роботи є підвищення точності висіву овочевих культур шляхом теоретичного обґрунтування, моделювання та визначення конструктивно-технологічних параметрів гідравлічної сівалки, у якій подача насіння здійснюється потоком робочої рідини.

Завдання кваліфікаційної роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- Провести аналіз сучасного стану конструкцій і принципів роботи гідравлічних та гідропневматичних сівалок для овочевих культур. Визначити основні чинники, що впливають на рівномірність подачі насіння у гідропотоці та формування псевдозрідженого шару.
- Розробити конструктивну схему гідросівалки, адаптованої до мостової машини довжиною 18 м із електроприводом загальною потужністю 4 кВт.
- Обґрунтувати параметри гідравлічної системи (тиск, витрату рідини, діаметр насіннєпроводів, частоту перемішування), що забезпечують рівномірний розподіл насіння.
- Провести теоретичне моделювання руху насіння у гідропотоці з урахуванням властивостей суспензії та розробити рекомендації щодо стабілізації дозування.
- Оцінити агротехнічні показники якості висіву – рівномірність, глибину, густоту та енергію проростання насіння.
- Оцінити економічну ефективність запропонованого рішення

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Конструктивні рішення

За результатами аналітичного огляду сучасних систем висіву розроблено конструктивну схему гідросівалки (рис. 2.1), яка враховує недоліки існуючих конструкцій, пов'язані з нестабільністю концентрації насіння у псевдозрідженому шарі та нерівномірністю подачі суспензії у висівний тракт [12]. У новій схемі реалізовано комплексний підхід, який поєднує гідравлічний контур, пневматичний стабілізаційний контур, мехатронний блок керування та оновлений дозатор насіння з активною флуктуаційною корекцією.

Розроблена конструкція гідравлічної сівалки базується на поєднанні гідродинамічної циркуляційної системи, механізму формування псевдозрідженого шару, високочутливих оптичних датчиків та дозатора з активним керуванням. Така архітектура дозволяє забезпечити повністю контрольоване розділення насінин, стабільну концентрацію у суспензії та точну, детерміновану подачу кожної насінини до ствола для подальшого висіву.

Конструктивно гідросівалка складається із забірного резервуара, камери формування псевдозрідженого шару, циркуляційного насоса (помпи), магістральних трубопроводів, двох гідравлічних клапанів, електропневматичного клапана, дозатора насіння та висівного ствола. Усі вузли пов'язані через контур керування, який забезпечує безперервний моніторинг положення та наявності насінини за допомогою оптичних датчиків.

Формування псевдозрідженого шару. Однією з ключових особливостей конструкції є утворення псевдозрідженого шару насіння у камері 10. На відміну від класичних гідросівалок, де застосовується барботаж або механічне перемішування, у даній конструкції псевдозрідження створюється виключно висхідним потоком робочої рідини, який забезпечує помпа 17.

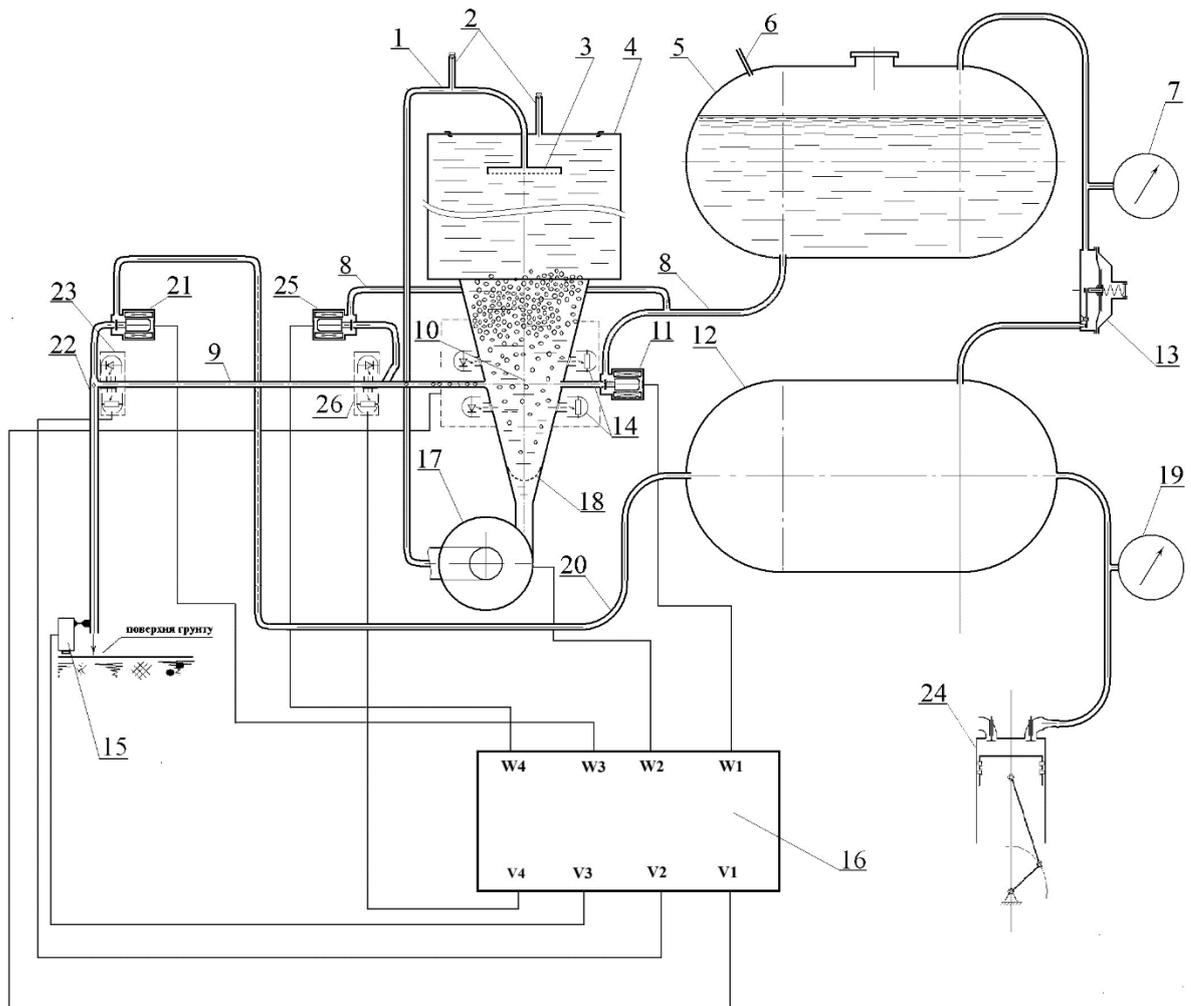


Рисунок 2.1 – Функціональна схема сівалки для гідровисіву

1 – дренажна магістраль; 2 – повітровідводи; 3 – сітчатий забірник;
 4 – резервуар для насіння; 5 – бак для рідини; 6 – дросель; 7 – манометр контролю тиску рідини; 8 – магістраль подачі рідини; 9 – дозатор насіння;
 10 – насіннева камера; 11 – електрогідроклапан; 12 – пневмоакумулятор;
 13 – регулятор тиску; 14 – датчики контролю концентрації насіння;
 15 – координатний датчик; 16 – блок керування мехатронної системи;
 17 – помпа; 18 – сітчатий обмежувач; 19 – манометр контролю тиску повітря; 20 – пневмопровід; 21 – електропневмоклапан; 22 – ствол; 23 – датчик наявності насіння; 24 – енергетична частина (компресор); 25 – гідроклапан дозатора; 26 – датчик контролю насіння в дозаторі

Робоча рідина із резервуара подається помпою (насосом) у нижню частину насінневої камери та рухається вертикально вгору з такою швидкістю, яка перевищує критичну швидкість осідання насінин. Частинки насіння піднімаються потоком, втрачають стійкий контакт між собою і переходять у зважений стан. Таким чином формується флюїдизований шар, у якому насіння рівномірно розподілене в об'ємі та повністю готове до відбору.

На відміну від традиційних систем, тут циркуляційний контур замкнений. Після проходження через камеру 10 та резервуар 1 рідина через сітчастий забірник 3 і дренажну магістраль 1 повертається до насоса та знову подається до камери 10. Така схема створює замкнений круговий рух рідини, що забезпечує постійну стабільність концентрації насіння у псевдозрідженому шарі завдяки регулюванню витрати помпи та відповідно швидкості висхідного потоку.

Процес заряджання дозатора насіння. Заряджання насіння до дозатора 9 починається з моменту, коли електрогідроклапан 11 отримує команду на відкриття від блоку керування 16. У цей момент рідина, яка рухається під тиском по магістралі подачі 8, спрямовується безпосередньо у насінневу камеру 10. Різке збільшення швидкості потоку в зоні стінок камери створює локальний імпульс, який виштовхує окрему насініну з псевдозрідженого шару до входу у дозатор.

У момент, коли насініна перетинає зону оптичного датчика 26, формується точний сигнал про її надходження. Блок 16 практично миттєво (з затримкою менше 20 мс) подає команду на закриття гідроклапана 11, щоб зупинити подальше надходження нових частинок. Після цього активується гідроклапан 25, який відкриває обхідний канал 8 для робочої рідини.

Рідина, проходячи через відкритий клапан 25, створює гідравлічний імпульс, що переміщає насініну, яка зупинилась у зоні датчика 26, та проштовхує її в напрямку ствола 22. Усі ці процеси відбуваються без механічних елементів, виключно за рахунок керованої дії рідини, що суттєво зменшує пошкоджувальність насіння та ризику заклинювання.

Коли насінина проходить повз другий оптичний датчик 23, формується підтверджувальний сигнал, на основі якого блок 16 негайно подає команду на закриття гідроклапана 25. Таким чином система фіксує, що насінина потрапила у ствол і дозатор повністю виконав свою функцію.

Закриття клапана 25 створює ефект гідравлічної стабілізації: через нерозривність потоку рідина миттєво припиняє рух у напрямку ствола, а насінина займає чітко визначене положення на вході у висівний канал. У цей момент ствол вважається зарядженим і повністю готовим до висіву.

Принцип висіву насінини з зарядженого ствола. Після зарядження ствола система переходить у режим очікування сигналу від координатного датчика переміщення 15. Оскільки гідросівалка працює у складі мостової машини або іншої координатної платформи, точний момент висіву визначається не швидкістю руху агрегату, а конкретною просторовою точкою.

Коли координатний датчик фіксує досягнення заданих координат X–Y, блок 16 подає команду на відкриття електропневмоклапана 21. До ствола надходить стиснуте повітря з тиском 0,1–0,2 МПа, яке створює короткий імпульс і повністю виштовхує насінину у сформоване сошником насінневе ложе (сошник на схемі не показано).

Завдяки використанню стиснутого повітря:

- висів відбувається миттєво та без інерційної затримки,
- насінина не пошкоджується,
- забезпечується точне потрапляння у центр борозни,
- усувається ризик «прилипань» або зволоження насінини перед

висівом.

Автоматичний цикл перезарядження. Після завершення висіву блок керування 16 автоматично ініціює новий цикл зарядження. Він повторює послідовність:

Уся система працює у замкненому циклі з повним контролем кожного етапу. На відміну від традиційних гідросівалок, де насінина надходить

ймовірно, нова конструкція працює у детермінованому режимі, забезпечуючи точність 1 насінина = 1 імпульс подачі. Для проведення теоретичних досліджень параметрів гідравлічної сівалки в додатку А наведено вихідні дані.

2.2 Теоретичні основи руху насіння у рідинному потоці

Гідравлічний спосіб висіву базується на використанні робочої рідини як транспортного та частково дозувального середовища для насіння. На відміну від традиційних механічних або пневматичних висівних апаратів, де насіння контактує з рухомими деталями (дисками, ложечками, барабанами, вакуумними отворами тощо), у гідросівалці основним «робочим органом» є потік рідини. Тому розуміння закономірностей руху насіння у рідинному середовищі є базою для теоретичного обґрунтування конструкції забірної камери, насіннєпроводів і дозувальних елементів.

З погляду механіки суцільних середовищ процес можна розглядати як рух дисперсної твердої фази (насіння) у рідинному потоці. Насіння овочевих культур у гідросівалці утворює дисперсну фазу з певною концентрацією, тоді як вода або водний розчин поживних речовин є дисперсійним середовищем. Для опису цього процесу застосовуються підходи багатофазної гідродинаміки, але для інженерних розрахунків доцільно використовувати спрощені моделі, у яких кожна насінина розглядається як окрема частинка, що взаємодіє з потоком.

Сили, що діють на насіння в рідинному потоці. На окрему насінину, занурену в рідину, діє комплекс сил, результат якого визначає траєкторію, швидкість і режим її руху [12, 13]. До основних сил належать:

- сила ваги насінини $G = mg$;
- архімедова сила F_A , спрямована вгору;
- сила в'язкого опору (гідродинамічного опору) з боку рідини F_D ;

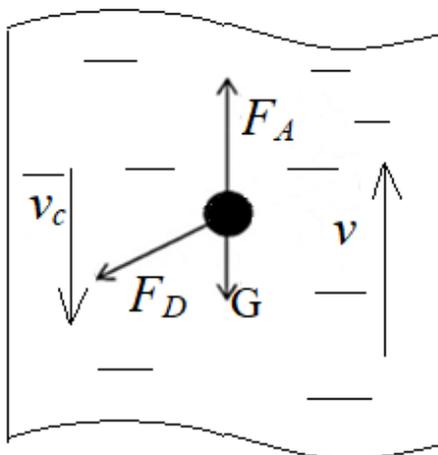


Рисунок 2.2 – Схема дії основних сил на насініну

Рівнодіюча сил у вертикальному напрямку для окремої насініни у спрощеному вигляді може бути подана як:

$$\sum F = G - F_A - F_D = m \frac{dv}{dt}, \text{ Н} \quad (2.1)$$

де m – маса насініни, кг,

v – її швидкість відносно рідини, м/с,

dv/dt – прискорення, м/с².

Сила ваги визначається:

$$G = \rho_s \cdot V_s \cdot g, \text{ Н} \quad (2.2)$$

Де ρ_s – густина насіння, кг/м³,

V_s – об'єм насініни, м³,

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Архімедова сила:

$$F_A = \rho_r \cdot V_s \cdot g, \quad (2.3)$$

де ρ_r – густина робочої рідини, кг/м³.

Різниця між силою ваги і архімедовою силою:

$$G - F_A = (\rho_s - \rho_r)g \cdot V_s, \quad (2.4)$$

показує «ефективну» вагу насінини у рідинному середовищі. Чим ближчі густини насіння і рідини, тим менша ця різниця і тим легше підтримувати насіння у зваженому стані.

Сила гідродинамічного опору у загальному вигляді описується виразом:

$$F_D = \frac{\rho_r \cdot v^2}{2} \cdot C_D \cdot A, \quad (2.5)$$

де C_D – коефіцієнт опору,

A – характерна площа поперечного перерізу насінини, перпендикулярна до напрямку потоку.

При малих швидкостях і невеликих розмірах частинок (діє закон Стокса) сила опору пропорційна швидкості:

$$F_D = 6\pi\mu r v, \quad (2.6)$$

де μ – динамічна в'язкість рідини, Па · с

r – еквівалентний радіус насінини, м

У сталому режимі вертикального руху насінини в рідині (коли прискорення відсутнє, $dv/dt = 0$ рівнодіюча сил дорівнює нулю:

$$G - F_A - F_D = 0.$$

Звідси отримаємо вираз для швидкості осідання насінини v_c . У стоксовій області:

$$v_c = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_r)gr^2}{\mu}, \text{ м/с} \quad (2.7)$$

Ця швидкість є критичною характеристикою: якщо вертикальна складова гідравлічного потоку v більша за v_c насіння утримується у зваженому стані; якщо менша – насіння осідає на дно насінневої камери. F_A

2.3 Вплив фізико-механічних властивостей насіння

Овочеві культури мають значну різноманітність за розмірами, формою і густиною насіння. Насіння капусти, томатів, перцю, моркви, цибулі, редису відрізняється не лише геометрією, але й гідрофільністю оболонки, швидкістю набухання та зміною маси у часі. Після контакту з водою насіння поступово набухає, збільшуючи свій об'єм на 1,4–2 рази, при цьому густина може змінюватися, а поверхня – ставати більш шорсткою.

З точки зору гідродинаміки це означає, що параметри ρ_s , r , C_D і навіть характер режиму обтікання можуть змінюватися в процесі роботи гідросівалки. Тому підбір параметрів потоку має здійснюватися з урахуванням найбільш несприятливого стану насіння – тобто для максимального розміру і зміненої густини набухлої або частково пророслої насінини.

Форма насіння значною мірою впливає на коефіцієнт опору C_D . Для умовно сферичних частинок він має одні значення, для плоских, «лускоподібних» або довгастих (як у огірків) – інші. У реальній роботі гідросівалки насінини часто орієнтується в потоці не хаотично, а з певною перевагою тієї чи іншої орієнтації, що додатково впливає на C_D і траєкторію руху. Це особливо важливо при русі в криволінійних або вертикальних ділянках насіннепроводів, де центробіжні сили та зміна напрямку потоку можуть сприяти локальному накопиченню частинок на зовнішніх стінках.

Крім того, слід враховувати, що при підвищених концентраціях насіння в суспензії виникають взаємодії між частинками. Зіткнення, тимчасові «пакети» і злипання зумовлюють локальну зміну концентрації і можуть спричиняти нерівномірність подачі. Тому для забезпечення однонасінневого або близького до нього режиму висіву концентрація у забірній камері повинна підтримуватися в межах 0,4-0,6 од/см³ [14], які забезпечують достатню відстань між частинками у середньому потоці.

2.4 Теоретичні основи утворення псевдозрідженого шару

Характер руху рідини у насіннепроводах і забірній камері визначається режимом течії, який кількісно оцінюється за числом Рейнольдса [15]:

$$Re = \rho_r \cdot v \cdot d \cdot \mu, \quad (2.8)$$

де v – середня швидкість потоку, м/с

d – характерний діаметр каналу, м.

У ламінарному режимі (малі Re) частинки рідини рухаються упорядковано, по паралельних траєкторіях, а профіль швидкості має параболічний характер. У цьому випадку насіння прагне займати центральну частину потоку, де швидкість найбільша. Такий режим сприяє більш прогнозованому транспортуванню, але при зменшенні швидкості може виникати осідання на дні насінневої камери.

У турбулентному режимі (великі Re) потік характеризується пульсаціями швидкості, вихороутворенням і перемішуванням. Для руху насіння це має подвійну дію:

- позитивна – турбулентність запобігає утворенню осаду і розшаруванню суспензії;

- негативна – надмірні флуктуації можуть викликати нерівномірне надходження насінин до входу в дозувальний канал і, відповідно, збільшувати розкид інтервалів між насінинами в рядку.

Для гідросівалки, що працює у складі мостової машини, доцільно забезпечити перехідний або слабкотурбулентний режим течії у насінневі камері. Це дозволяє поєднати переваги турбулентного перемішування з достатньою передбачуваністю середньої швидкості потоку. У практичному плані це означає підтримання числа Рейнольдса на рівні приблизно $Re = 1500-3500$ шляхом вибору відповідного діаметра труб, швидкості потоку та в'язкості робочої рідини.

Утворення псевдозрідженого шару (ПЗШ) у насінневі камері гідросівалки є ключовим процесом, який забезпечує стабільне перемішування насіння та створює умови для відбору одиничних частинок у момент дозування. Псевдозрідження виникає внаслідок взаємодії гравітаційних сил, гідродинамічного опору та висхідного потоку рідини, що приводить тверду фазу (насіння) у зважений стан [16].

Для переходу насіння у псевдозріджений шар необхідно, щоб швидкість висхідного потоку рідини v була більшою або рівною швидкості осідання частинок v_c :

$$v \geq v_c \quad (2.9)$$

Швидкість осідання насіння визначається за формулою Стокса:

$$v_c = \frac{2(\rho_s - \rho_r) g r^2}{9\mu}, \quad (2.10)$$

де r – радіус насінини, м. За результатами проведених теоретичних досліджень за радіусу овочевого насіння $r = 1-5$ мм швидкість осідання коливається в межах $0,02-0,15$ м/с. Помпа 17 (рис. 2.1) створює потік зі

швидкістю 0,3–0,5 м/с, що значно перевищує необхідні значення, забезпечуючи стабільний ПЗШ [17].

Вплив геометрії насінневої камери.

Псевдозрідження неможливе без правильно обраної геометрії насінневої камери 10 (рис. 2.1). У ході аналізу встановлено, що найкращий ефект забезпечує камера у вигляді тригранної призми з звуженням донизу. Зменшення кута між гранями α (рис. 2.3, а) призводить до збільшення висоти зони псевдозрідженого шару ПЗШ H_0 (рис. 2.3, б) та вирівнювання швидкостей по перерізу [18].

Попередньо проведеними дослідженнями встановлено, що порозність шару ε у нерухомому стані становить $\varepsilon_0 = 0,395$. При досягненні режиму киплячого шару порозність збільшується до 0,56–0,72 залежно від крупності насіння та швидкості рідини [19].

Баланс сил у псевдозрідженому шарі.

Рівняння руху частинки в псевдозрідженому шарі:

$$m_s \frac{dv}{dt} = G - F_A - F_D + F_m + F_{ac} \quad (2.11)$$

F_m – сила приєднаної маси, Н;

F_{ac} – сила гідродинамічного прискорення, Н [19].

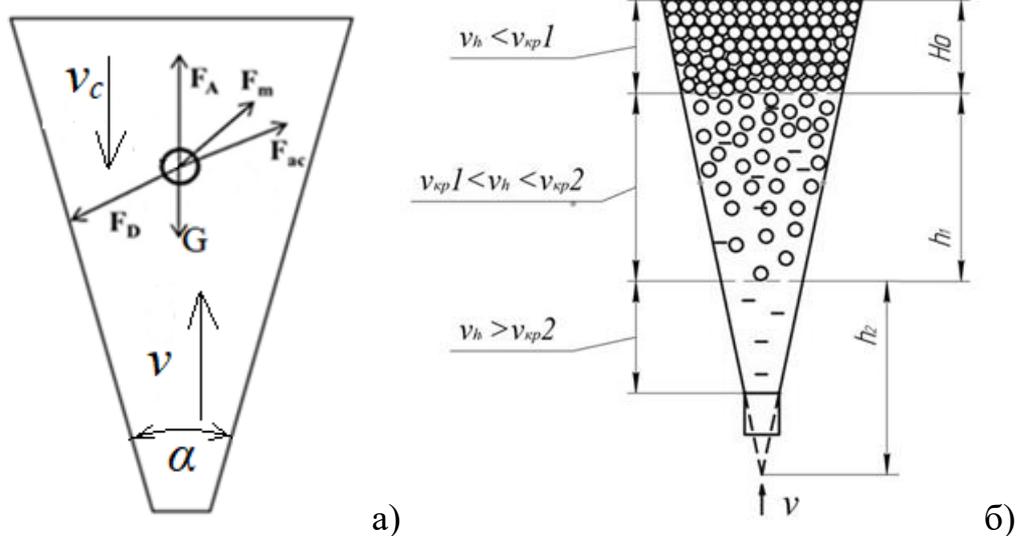


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема

а – дія сил на насінину в насінній камері; б – умови формування ПЗШ

Аналізуючи розрахункову схему на висоті h_2 при досягненні другої критичної швидкості $v_{кр2}$ насіння виноситься з нижньої частини насінневої камери. При зменшенні значенні цієї швидкості за рахунок зміни перерізу камери починає формуватися ПЗШ з насіння, що має різні розмірні групи в зоні його відбору до дозатора на висоті h_1 . В верхній частині камери відбувається нагромадження насіння за рахунок встановлення першої критичної швидкості $v_{кр1}$ за якої насіння зависає. Змінний переріз насінневої камери впливає на зміну значення швидкості висхідного потоку v_h у відповідній площині, що дозволяє утримувати насіння різних розмірів і форм в зоні його відбору до дозатора з заданою концентрацією регулюючи швидкість висхідного потоку.

Псевдозрідження відбувається тоді, коли сумарна висхідна сила компенсує вагу та опір:

$$F_A + F_{ac} + F_m = G + F_D \quad (2.12)$$

Це забезпечує стан часткової рівноваги, за якого насінина не осідає та не вимивається з камери.

Концентраційні характеристики шару

Концентрація насіння n у камері визначається:

$$n = 3N / (4 \pi r^3 V_k) \quad (2.13)$$

де N – кількість насінин, шт;

r – радіус, см;

V_k – об'єм камери, см³.

Детально дослідження концентрації насіння розглянуто в роботах [21, 22] за результатами числового моделювання яких встановлено, що за концентрації $n=0,33-0,35$ шт/см³ забезпечується достатня рухливість частинок і усувається нагромадження насіння на вході в дозатор.

2.5 Теоретичні дослідження параметрів дозатора насіння гідравлічної сівалки

Дозатор насіння у гідравлічній сівалці відіграє ключову роль у забезпеченні рівномірності висіву, визначаючи момент відбору насінини з псевдозрідженого шару, її подачу в ствол та підготовку до виштовхування у ґрунт. На відміну від традиційних гідросівалок, у яких подача насіння має ймовірнісний характер і залежить від випадкового захоплення частинок потоком рідини, у розробленій конструкції використано дозатор з керованим гідроклапанним механізмом та оптичним контролем наявності насіння. Це дозволяє реалізувати дискретний, керований процес подачі, що усуває основне джерело нерівномірності висіву.

Основою роботи дозатора є короткочасне відкриття гідравлічного клапана, через який рідина під тиском надходить до насінневої камери та витісняє одну насінину із псевдозрідженого шару в дозувальний канал. Рух насінини у цьому каналі можна описати як поступальний рух твердого тіла в рідинному середовищі під дією перепаду тиску. Рушійна сила визначається виразом:

$$F = \Delta p \cdot A \quad (2.14)$$

де Δp – перепад тиску в системі, Па, коливається від 600-900 Па приймаємо $\Delta p = 800$ Па,

A – площа перерізу дозувального каналу, м².

Оскільки насіння рухається у вузькому каналі разом з рідиною, його швидкість можна визначити з рівняння руху:

$$v_H = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_r}}, \text{ м/с} \quad (2.15)$$

У гідравлічній системі сівалки тиск перед клапаном підтримується на рівні 0,35 МПа, що забезпечує необхідний запас енергії для переміщення насінини. Проте фактична швидкість руху значною мірою залежить від гідравлічних втрат, зумовлених дроселюванням у клапані, тертям рідини об стінки каналу та локальними опорами. Ці втрати описуються коефіцієнтом:

$$k = \sqrt{\frac{1}{1+\zeta}} \quad (2.16)$$

де ζ – коефіцієнт місцевих опорів.

Таким чином, реальна швидкість руху насінини дорівнює:

$$v_{\text{реал}} = k \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_r}}, \text{ м/с} \quad (2.17)$$

Для каналу довжиною 0,09 м, при діаметрі 10 мм, густині рідини 1000 кг/м³ та коефіцієнті опорів 0,55 отримано середню швидкість:

$$v_{\text{реал}} = 0,55 \sqrt{\frac{2 \cdot 800}{1000}} = 0,7 \text{ м/с.} \quad (2.18)$$

Тоді час заряджання ствола визначається:

$$t_{\text{зар}} = L_d \cdot v_{\text{реал}} = 0,09 \cdot 0,7 = 0,13 \text{ с} \quad (2.19)$$

де L_d – вістань яку проходить насінини підчас заряджання $L=0,09$ м.

$t_{\text{зар}} \approx 0,13$ с

Це означає, що система здатна забезпечувати до 7–8 заряджань ствола за секунду, що у багато разів перевищує необхідну продуктивність для інтервалів

між висівами 5–50 см при робочих швидкостях агрегату. Результати теоретичних досліджень параметрів дозатора наведено в додатку Б та В.

Залежність швидкості руху насіння в дозаторі від перепаду тиску наведено на рисунку 2.4.

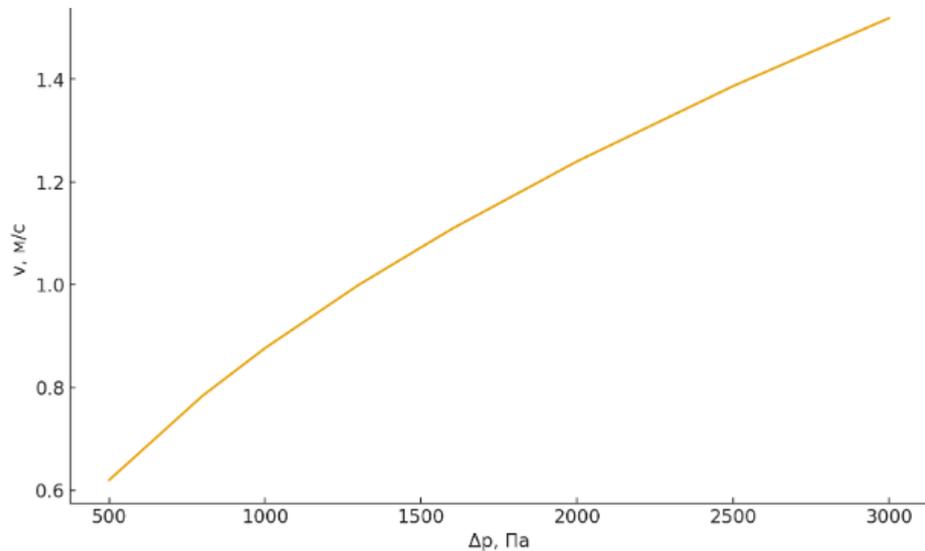


Рисунок 2.4 – Залежність швидкості руху насіння в дозаторі від перепаду тиску

На рисунку 2.5 наведено графічну залежність часу від довжини дозатора.

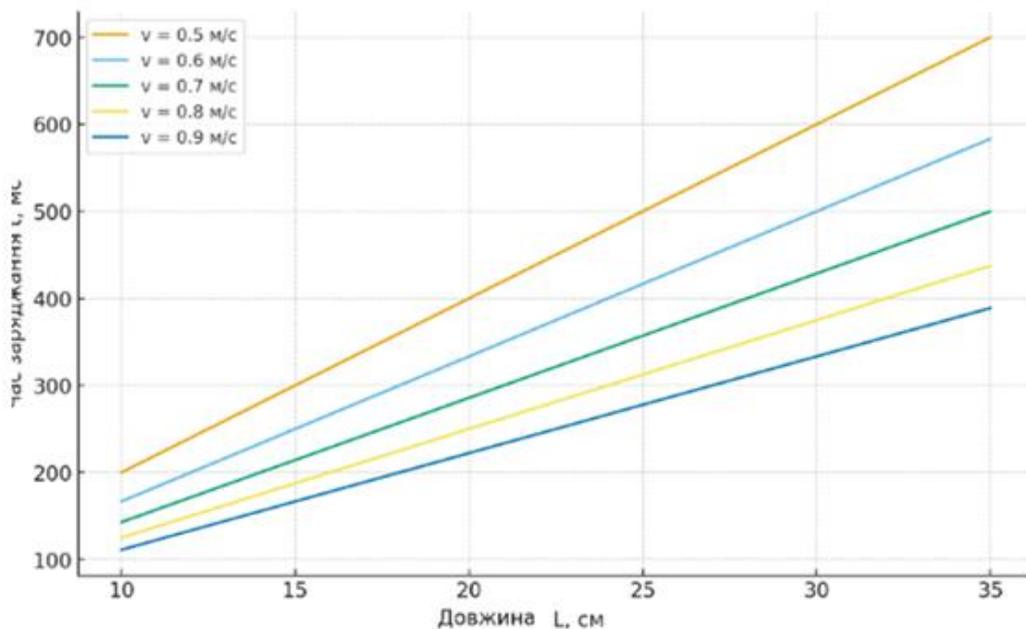


Рисунок 2.5 – Залежність часу заряджання насіння від довжини каналу дозатора

Графік 2.4 показує, що зі збільшенням ефективного перепаду тиску у дозаторі від 50 до 2000 Па швидкість переміщення насінини зростає приблизно від 0,6 до 1,5 м/с. Така залежність відповідає кореневому характеру зміни швидкості згідно з рівнянням: що є характерним для руху частинки в рідинному потоці. Робоча область 0,6...0,8 м/с відповідає стабільному транспортуванню насінини без її травмування та забезпечує надійне формування зарядженого стану ствола.

Отримана залежність часу заряджання від довжини каналу дозатора свідчить про лінійний характер зміни цього параметра. Це пояснюється тим, що при незмінній швидкості руху частинки рідини та насінини у каналі час проходження пропорційний відстані, яку необхідно подолати. Побудовані залежності для швидкостей 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 та 0,9 м/с показують, що навіть незначне збільшення довжини ствола приводить до суттєвого зростання часу заряджання. Наприклад, при швидкості 0,7 м/с збільшення довжини ствола від 0,10 до 0,35 м підвищує час заряджання приблизно з 140 до 500 мс. При меншій швидкості руху (0,5 м/с) цей інтервал зростає до 200–700 мс, що вже може негативно впливати на рівномірність висіву при високих робочих швидкостях агрегату.

Отримані результати дозволяють визначити допустимий конструктивний діапазон довжини ствола. При довжині понад 0,30–0,35 м час заряджання перевищує 0,5–0,7 с, що може призводити до збільшення інтервалів між насінинами та втрати точності висіву. Тому з точки зору забезпечення стабільного темпу роботи гідросівалки доцільно обмежувати довжину каналу величиною 0,1–0,2 м та підтримувати швидкість руху насінини не нижче 0,7–0,8 м/с. Таким чином, аналіз залежності часу заряджання від довжини каналу підтверджує, що оптимізація конструкції дозувального каналу та параметрів гідродинамічного режиму є ключовим фактором підвищення продуктивності гідросівалки та забезпечення рівномірності висіву.

Важливою особливістю конструкції є використання оптичного датчика у зоні дозатора, який реєструє появу насінини. Після фіксації сигнал передається до керуючого блока, який миттєво закриває гідроклапан, запобігаючи подачі другої насінини. Після цього відкривається другий гідроклапан, який пропускає рідину у напрямку ствола, забезпечуючи транспортування одиничної насінини у позицію очікування. Завдяки автоматичному керуванню процес переходить із ймовірнісного у детермінований режим.

Теоретичний аналіз показує, що ймовірність надходження більше однієї насінини в дозувальний канал визначається концентрацією насіння у псевдозрідженому шарі, інтенсивністю перемішування та швидкістю потоку. Для випадкового режиму подачі ймовірність підпорядковується розподілу Пуассона. Відповідно, ймовірність появи двох і більше насінин у порції визначається виразом:

$$P(n > 1) = 1 - e^{-\lambda}(1 + \lambda) \quad (2.20)$$

де $\lambda = c \cdot V$ – інтенсивність потоку частинок, шт,

c – концентрація насіння у робочій суспензії, шт/см³;

V – об'єм разового забору, см³.

Результати теоретичних досліджень висіву двійників наведено в додатку Г. Для концентрації насіння $c=0,33$ шт/см³ побудовано залежність $P(n>1)$ від об'єму забору V у межах 0,2...3,0 см³.

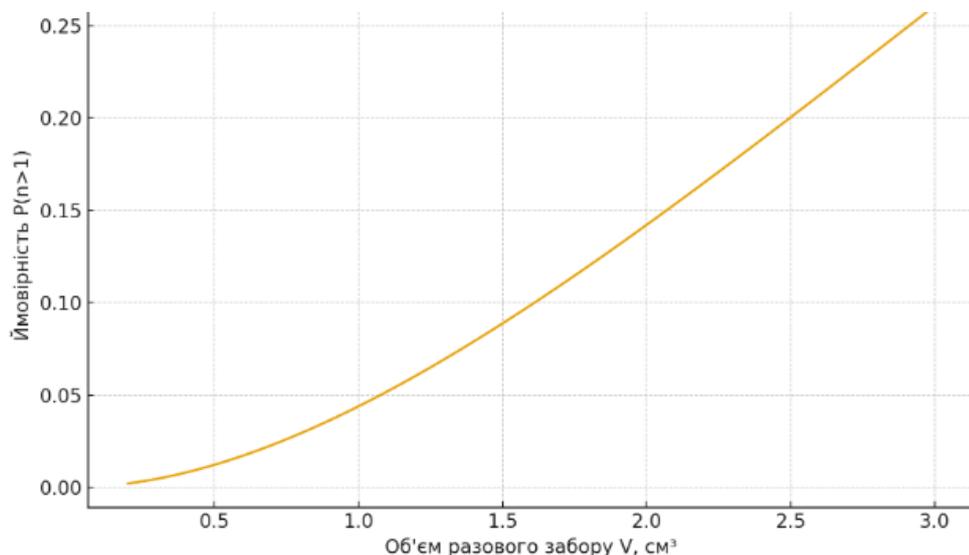


Рисунок 2.6 – Залежність $P(n>1)$ від об'єму забору V

Отримана крива має характерний монотонно зростаючий характер: при збільшенні об'єму разового захоплення кількість насінин у порції зростає, а разом з нею – ймовірність появи двійників. Так, при об'ємі 1 см³ ймовірність появи двох насінин становить приблизно 4 %, при 2 см³ – близько 13 %, а при 3 см³ досягає 26 %. Початкові значення (0,2...0,5 см³) практично гарантують однонасінневе відбирання, що підтверджує доцільність зменшення дозованого об'єму.

Графік демонструє нелінійний характер приросту ймовірності: при малих об'ємах зростання повільне, однак після $V > 1,5$ см³ спостерігається різке збільшення частоти двійників. Це пояснюється збільшенням ефективного числа частинок у зоні забору, що підвищує ймовірність одночасного потрапляння декількох насінин у потік.

Таким чином, оптимізація об'єму разового забору є критично важливим фактором забезпечення точності висіву. Зменшення робочого об'єму забірної камери до рівня близько 1 см³ дозволяє знизити ймовірність формування двійників з понад 20 % до 3–5 %, що підтверджує ефективність запропонованої конструкції дозатора.

2.6 Теоретичне визначення продуктивності гідросівалки

Робота гідравлічної сівалки з однозерновим дозатором має циклічний характер. Кожен цикл включає три основні фази:

1. заряджання ствола насіниною – час $t_{зар}$;
2. безпосередній процес висіву (виштовхування з ствола у насінневе ложе) – час $t_{вис}$;
3. інтервал між двома послідовними висівами – час $t_{ин}$, який визначається заданим кроком розміщення насіння вздовж рядка.

Тривалість повного циклу роботи одного каналу дозатора:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{вис}} + t_{\text{зар}} \quad (2.21)$$

Максимально можлива частота висіву для одного висівного каналу:

$$f_{\text{max}} = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \quad (2.22)$$

З іншого боку, інтервал між висівами пов'язаний із лінійною швидкістю руху агрегата $v_{\text{сiv}}$ та заданою відстанню між насінинами вздовж рядка s (від 0,05 до 0,50 м):

$$t_{\text{инт}} = \frac{s}{v_{\text{сiv}}} \quad (2.23)$$

Щоб сівалка працювала коректно, має виконуватись умова:

$$\frac{s}{v_{\text{сiv}}} = t_{\text{инт}} \geq t_{\text{ц}} = t_{\text{вис}} + t_{\text{зар}}, \quad (2.24)$$

тобто час, який агрегат «проходить» між двома послідовними насінневими позиціями, повинен бути не меншим за сумарний час заряджання ствола та власне процесу висіву. Враховуючи, що виштовхування насінини стисненим повітрям відбувається дуже швидко (десятки мілісекунд) із швидкістю в межах 10-15 м/с забезпечується висів без травмування та вторинного викидання із насінневого ложа $t_{\text{вис}} \ll t_{\text{зар}}$, і тоді визначальним для працездатності стає саме час заряджання [20-25].

Мінімально допустимий інтервал між висівами можемо визначити із співвідношення 2.22:

- мінімально допустиму відстань між насінинами при заданій швидкості руху:

$$s_{min} = v_{civ}(t_{вис} + t_{зар}), \quad (2.25)$$

або, навпаки, максимальну допустиму швидкість руху агрегата при обраному інтервалі висіву:

$$v_{max} = \frac{s}{t_{вис} + t_{зар}}. \quad (2.26)$$

Ці співвідношення дозволяють пов'язати кінематику руху мостової машини або агрегата з динамікою роботи дозатора. Наприклад, якщо експериментально встановлено, що повний технічно надійний час заряджання ствола $t_{зар} = 0,13$ с, а час висіву $t_{вис} = 0,02$ с, то сумарно:

$$t_{ц} = 0,13 + 0,02 = 0,15 \text{ с.}$$

Тоді при швидкості руху $v = 0,5$ м/с $\approx 1,8$ км/год:

- мінімально допустимий інтервал уздовж рядка:
-

$$s_{min} = 0,5 \cdot 0,12 = 0,06 \text{ м} = 6 \text{ см,}$$

що добре узгоджується з нижньою межею діапазону 5–50 см.

Кількість насінин за одиницю часу та продуктивність дозатора. Якщо інтервал між насінинами становить s , а швидкість агрегата v_{civ} , то кількість насінин, висіяних одним каналом за секунду, дорівнює:

$$n_{сек} = \frac{v_{civ}}{s}. \quad (2.27)$$

Для діапазону:

$$s = 0,05 \text{ м, } v = 0,5 \text{ м/с,}$$

$$n_{сек} = \frac{0,5}{0,05} = 10 \text{ насінин,}$$

$$s = 0,50 \text{ м}; v = 0,5 \text{ м/с},$$

$$n_{сек} = 0,5/0,5 = 1 \text{ насіннина.}$$

Ці значення мають бути сумісні з максимальною частотою спрацьовування дозатора:

$$f_{max} = \frac{1}{t_{вис} + t_{зар}} \quad (2.28)$$

Якщо, наприклад, $t_{вис} + t_{зар} = 0,10 \text{ с}$, то $f_{max} = 10 \text{ Гц}$ і сівалка теоретично здатна працювати навіть на мінімальному інтервалі 5 см при швидкості 0,5 м/с. Якщо ж час заряджання збільшується (через підвищену в'язкість рідини, більший діаметр насіння тощо), то нижня межа інтервалу висіву S_{min} зростатиме.

Теоретична польова продуктивність гідросівалки

З погляду загальної агротехнічної продуктивності використовують польову продуктивність, яка для мостової машини або агрегата із захватом B (ширина зони посіву) та робочою швидкістю $v_{сiv}$ км/год) визначається:

$$W_{сiv} = \frac{B \cdot v_{сiv} \cdot \eta}{10}, \text{ га/год}; \quad (2.29)$$

де B – робоча ширина захвату, м;

$v_{сiv}$ – швидкість, км/год;

η – коефіцієнт використання часу (0,7–0,9).

Однак для гідросівалки точного посіву ця величина повинна бути узгоджена з обмеженнями по роботі дозаторів [26, 27]:

- якщо збільшити швидкість $v_{сiv}$ без урахування $t_{зар}$, то дозатор не встигатиме заряджатися, і точність інтервалів буде втрачена;

- якщо занадто зменшити інтервал s , частота спрацьовування дозатора перевищить його технічні можливості.

Тому реальна продуктивність сівалки визначається як функція [28]:

$$W_{\text{реал}} = \min \left(\frac{B \cdot v_{\text{сів}} \cdot \eta}{10}; W_{\text{доз}} \right) \quad (2.30)$$

де $W_{\text{доз}}$ – продуктивність, обмежена максимально допустимою частотою роботи дозатора (через f_{max} , s_{min} і $t_{\text{вис}} + t_{\text{зар}}$)

За результатами теоретичних досліджень польової продуктивності гідравлічної сівалки (додаток Д) побудовано графічну залежність продуктивності від інтервалів між висівами насіння в рядку (рис. 2.7)

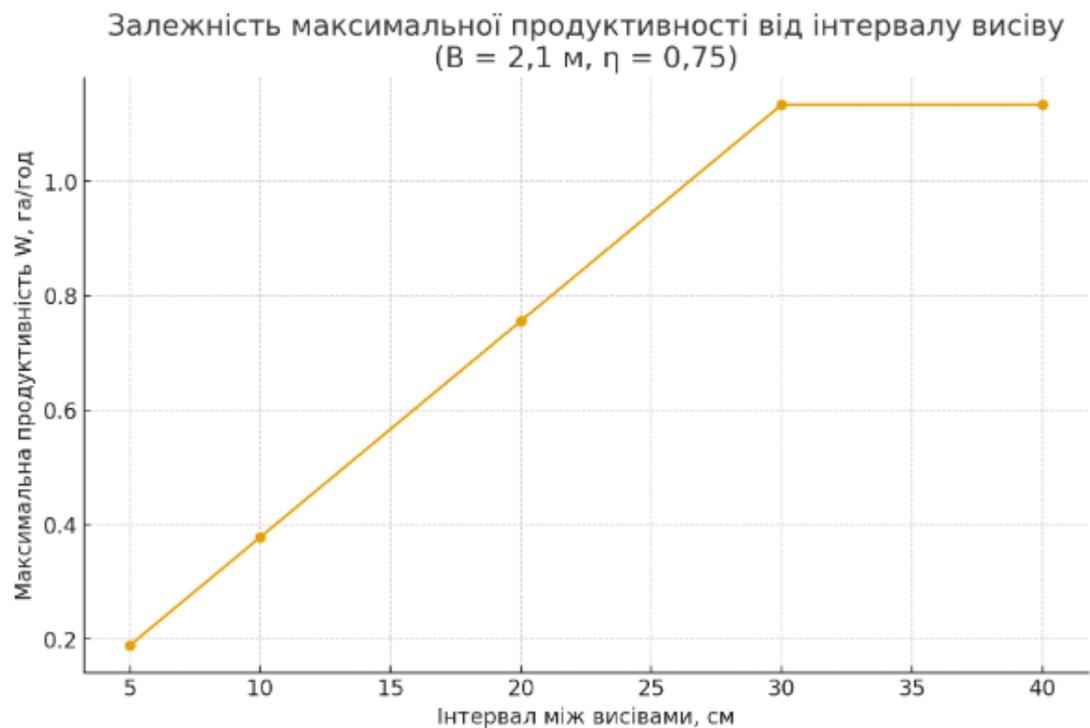


Рисунок 2.7 - Залежність продуктивності сівалки від зміни інтервалу між висівами насіння

Побудована залежність показує, що максимальна продуктивність гідросівалки з шириною захвату 2,1 м істотно залежить від інтервалу між насінинами в рядку. При дуже малих інтервалах (5–10 см) частота спрацьовування дозатора обмежує швидкість руху агрегата до 1,2–2,4 км/год. У цьому діапазоні польова продуктивність становить лише 0,19–0,38 га/год, що зумовлено необхідністю забезпечити час для надійного заряджання ствола між пострілами. За інтервалу 20 см допустима швидкість руху може бути підвищена до $\approx 4,8$ км/год, а продуктивність зростає до $\approx 0,76$ га/год. Це вже компроміс між вимогами до густоти стояння рослин та інтенсивністю виконання посівних робіт. Подальше збільшення інтервалу до 30–40 см дозволяє вийти на агротехнічно граничну швидкість 7,2 км/год. У цьому режимі досягається максимальна продуктивність близько 1,13 га/год. Для інтервалу 40 см продуктивність уже не зростає, оскільки обмежувальним фактором стає не дозатор, а максимально допустима швидкість руху агрегата.

2.7 Висновки

Теоретично обґрунтовано конструкцію та режими роботи гідравлічної сівалки з однозерновим дозатором та визначено ключові параметри її роботи. Показано, що формування псевдозріженого шару при швидкості потоку 0,3–0,5 м/с забезпечує утримання насіння у зваженому стані, оскільки критична швидкість осідання становить лише 0,02–0,15 м/с. Для дозувального каналу довжиною 0,09 м отримано час заряджання близько 0,13 с і сумарний цикл 0,15 с, що відповідає граничній частоті 7–10 Гц. Встановлено, що оптимальний об'єм забору ≈ 1 см³ знижує імовірність двійників до 3–5 %. Теоретичні розрахунки продуктивності для ширини захвату 2,1 м показали: 0,19–0,38 га/год при інтервалі 5–10 см, близько 0,76 га/год при 20 см та до 1,13 га/год при 30–40 см, що підтверджує ефективність запропонованої конструкції та узгодженість параметрів дозатора з робочими режимами агрегата.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Мета, завдання та об'єкт експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження є ключовим етапом у перевірці працездатності гідравлічної овочевої сівалки та уточненні параметрів, отриманих у теоретичних розрахунках. Особливість розробленої конструкції полягає у використанні гідродинамічного псевдозрідженого шару, оптично керованого однозернового дозатора, що потребує комплексного вивчення поведінки насіння у гідравлічному й пневматичному середовищі.

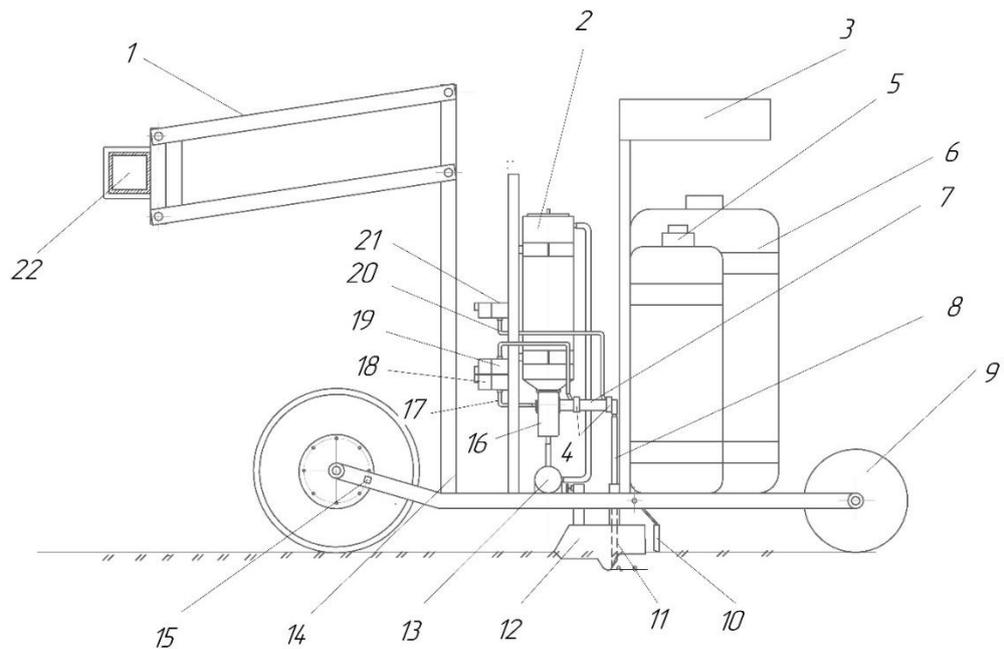
Метою досліджень є встановлення фактичних значень швидкостей, інтервалів часу та надійності спрацювання, що визначають точність і продуктивність роботи сівалки.

Для досягнення поставленої мети сформовано наступні завдання:

- встановлення реальних значень швидкості переміщення насіння у дозаторі при різних перепадах тиску та параметрах дроселювання;
- визначення фактичного часу заряджання ствола та його залежності від довжини каналу, діаметра та властивостей насіння;
- оцінка точності однонасінневої подачі та частоти помилкових спрацювань (двійників і пропусків);
- підтвердження можливості роботи сівалки у реальному діапазоні інтервалів між насінинами (5–50 см) та робочих швидкостях мостового агрегату.

Об'єктом дослідження є гідравлічна овочева сівалка у складі мостової машини, обладнана:

Дослідження проводилися на спеціально підготовленому експериментальному зразку гідравлічної овочевої сівалки СГО-2,1 (рис. 3.1), встановленої на мостовій машині.



а



б

Рисунок 3.1 – Експериментальна гідравлічна сівалка

а – структурна схема; б – загальний вигляд

1 – паралелограмна підвіска; 2 – резервуар для насіння; 3 – блок керування; 4 – оптичні датчики дозатора; 5 – ресивер; 6 – резервуар для води; 7 – дозатор насіння; 8 – ствол; 9 – ущільнююче колесо; 10 – загортач; 11 – сопло; 12 – сошник; 13 – помпа (насос); 14 – остов; 15 – датчик переміщення; 16 – насіннева камера; 17 – гідравлічна магістраль; 18, 19 – гідроклапани; 20 – пневмомагістраль; 21 – пневмоклапан; 22 – поперечина механізму агрегування агромоста

Конструкція сівалки включає:

- Гідравлічну систему живлення, яка підтримує стабілізований тиск у магістралі води до 0,3 МПа, що виключає наявність небезпечних рукавів високого тиску.
- Резервуар води прямокутної форми з демпфувальними вставками, що забезпечують стабільність рідини під час руху агрегату.
- Камеру формування псевдозрідженого шару, де насіння піднімається турбулентним потоком, контролюється оптичним датчиком і потрапляє до зони відбору.
- Гідродинамічний однозерновий дозатор, оснащений двома оптичними датчиками (в зоні заряджання та у стволі), які фіксують переміщення насінини.
- Гідроклапан заряджання, який регулює подачу рідини в камеру.
- Пневматичний клапан виштовхування, що формує короткий імпульс повітря для перенесення насінини у ґрунт разом з мікродозою рідини.
- Висівний ствол, який має змінний діаметр (10–15 мм), що дає можливість підбирати оптимальну швидкість руху насіння.
- Мікроконтролерний блок керування, який синхронізує спрацювання клапанів відповідно до сигналів датчика переміщення.
- Сошничково-ущільнюючий модуль, що включає сошник, сопло, загортач і прикочувальне колесо.
- Паралелограмну підвіску, яка забезпечує стабільну робочу глибину при нерівностях поля.

Сівалка змонтована на поперечині механізму агрегатування агромоста та працює в автоматизованому режимі за алгоритмом детально описаним в попередньому розділі.

3.2 Дослідження швидкості переміщення насінини у дозаторі

Експериментальне визначення швидкості руху насінини в каналі дозатора є ключовим елементом оцінювання працездатності гідросівалки, оскільки цей параметр визначає тривалість заряджання ствола, відтворюваність інтервалів висіву та загальну рівномірність подачі. Теоретичні дослідження (розділ 2) показали, що швидкість насінини повинна знаходитися в межах 0,5...1,0 м/с, а її залежність від ефективного перепаду тиску описується квадратичною функцією.

Для перевірки цих залежностей було проведено серію лабораторних і польових експериментів на спеціально створеній дослідній установці (рис. 3.2), яка за конструкцією повторює робочу частину гідросівалки та дозволяє регулювати параметри потоку рідини.

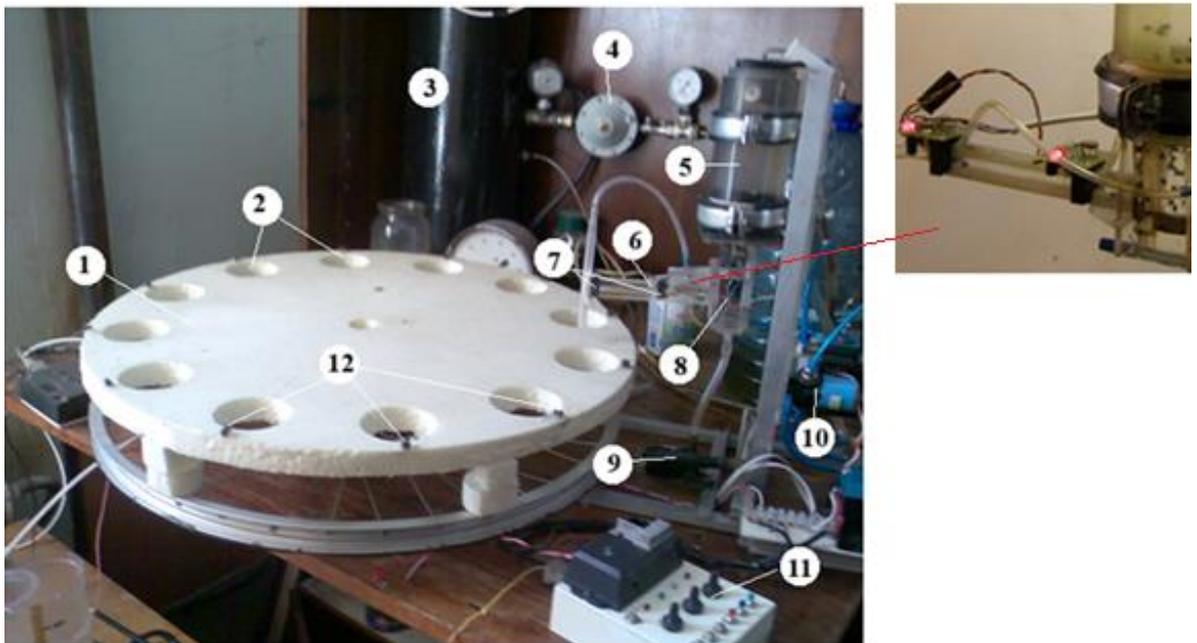


Рисунок 3.2 – Лабораторна установка гідравлічної сівалки

- 1 – імітаційний стенд; 2, 12 – точки висіву з магніти-мітками; 4 – регулятор тиску ; 5 – резервуар для насіння; 6 – дозатор насіння; 7 – оптичні датчики; 8 – насіннева камера; 9 – помпа (насос); 10 – клапанний блок; 11 – електронний блок керування

Методика проведення експериментальних досліджень [30, 31]

1. Структура та оснащення експериментальної установки

Для проведення дослідів використовувалася лабораторно установка, що включає:

- Енергетичну частину (компресор, ресивер, регулятор тиску наддуву) з можливістю зміни вихідного тиску в межах 0,05...0,30 МПа;
- прозорий ствол (довжина 200 мм, діаметри 10 та 15 мм для порівняння);
- оптичну пару датчиків для визначення часу проходження насінини;
- цифровий реєстратор для фіксації сигналів датчиків;
- манометричний блок для контролю перепаду тиску Δp ;
- насінневу камеру псевдозрідження, що забезпечує стабільне надходження насінин у канал дозатора;
- систему керування сівалкою, яка відтворює роботу реальної сівалки.

Таке компонування дозволило відтворити умови, близькі до польових, але з можливістю точного контролю параметрів потоку.

2. Процедура проведення дослідів

1. Встановлення режиму тиску. Поступово змінювали тиск у подаючій магістралі в межах: $\Delta p = 500; 800; 1100; 1500; 2000; 2500; 3000$ Па.
2. Калібрування оптичних датчиків. Перед проведенням дослідів перевіряли момент спрацювання і синхронізацію датчиків. Запуск режиму подачі одиничних насінин. З псевдозрідженого шару насінина потрапляла до каналу дозатора, перетинала перший датчик і починала рух під дією потоку.
3. Фіксація часу переміщення. За різницею сигналів першого та другого оптичного датчиків визначався час t , за який насінина проходила відстань $L = 0,09$ м, що відповідає конструкції реального дозатора.
4. Обчислення фактичної швидкості:

$$v_{\text{експ}} = L/t \quad (4.1)$$

6. Повторюваність. Для кожного режиму тиску проводили не менше 20 вимірювань, після чого обчислювали середнє значення.

3. Результати експериментальних досліджень

Отримані значення швидкостей наведено в таблиці 3.1. Вони суттєво корелюють із теоретичною залежністю, підтверджуючи правильність моделі (рис. 2.4 теоретичного розділу).

Таблиця 3.1 – Експериментальні значення швидкості руху насінини у дозаторі

Δp , Па	t, мс (серед.)	$V_{\text{експ}}$, м/с
500	145	0,62
800	118	0,76
1100	102	0,88
1500	90	1,00
2000	81	1,11
2500	74	1,22
3000	69	1,30

Отримані значення добре узгоджуються з теоретичною моделлю.. Реальні експериментальні швидкості відхилялись від теоретичних не більше ніж на 4–6 %, що підтверджує правильність гідравлічної моделі та адекватність прийнятих коефіцієнтів опору.

3.3 Експериментальні польові дослідження точності висіву гідросівалки

Польові дослідження гідравлічної овочевої сівалки проводили з метою оцінити реальну точність висіву та визначити частоту помилкових спрацьовувань однозернового дозатора – як із використанням запропонованої системи оптично керованого дозування, так і без неї. Саме порівняння цих двох варіантів дозволило визначити ступінь впливу конструктивних удосконалень на рівномірність та якість посіву.

Методика польових досліджень

Польові експерименти проводилися на ділянці рівномірно підготовленого ґрунту з відтворенням умов реального висіву овочевих культур (морква, буряк, цибуля). Для оцінки параметрів використано два режими роботи (рис. 3.3):

Варіант 1 – Базовий. Сівалка працює без однозернового дозатора, подача насіння здійснюється у формованому псевдозрідженому шарі з імовірнісним механізмом потрапляння у ствол.

Варіант 2 – Проектний. Сівалка оснащена гідродинамічним дозатором з оптичним контролем насінини та алгоритмічно керованим відкриванням гідроклапанів.



Рисунок 3.3 – Експериментальні дослідження точності висіву

Для обох варіантів забезпечували однакові умови:

- швидкість руху агрегату: 4 км/год,
- схема висіву: стрічкова 70×35 мм,
- діаметр ствола: 15 мм,
- вибіркоче обслідження по 10-метрових відрізках рядків,
- кількість повторів: не менше 30 для кожного режиму.

Контрольними величинами були:

- кількість насінин, що реально потрапляють у ґрунт;
- фактичні відстані між послідовними насінинами;
- наявність двійників (дві насінини в одному положенні);
- пропуски (відсутність насінини в інтервалі, що перевищує норму на >25%).

Обробка експериментальних результатів

Для оцінки роботи сівалки використовували три показники:

Точність висіву (%):

$$\eta = \frac{n_{\text{н}}}{n_{\text{заг}}} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

де $n_{\text{н}}$ – кількість інтервалів, що відповідають нормі;

$n_{\text{заг}}$ – загальна кількість інтервалів.

Частота двійників:

$$K_{\text{дв}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{заг}}} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

де $n_{\text{дв}}$ – кількість висівів з двійниками.

Частота пропусків:

$$K_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{пр}}}{n_{\text{заг}}} \cdot 100\% \quad (4.4)$$

де $n_{\text{пр}}$ – кількість висівів з пропусками.

Статистичну обробку здійснювали за методом середніх із відкиданням грубих похибок (>2 σ).

Польові дослідження продемонстрували суттєву різницю між двома режимами роботи.

Таблиця 3.2 – Порівняльні результати точності висіву у польових умовах

Показник	Без дозатора	З дозатором	Покращення
Точність висіву, %	89,2	96,5	+7,3 %
Двійники, %	6,8	1,9	-4,9 %
Пропуски, %	4,0	1,6	-2,4 %
Середній інтервал, см	36,8	35,1	стабілізація

Польові випробування двох варіантів роботи—без однозернового дозатора і з його застосуванням—показали суттєву різницю у стабільності формування інтервалів між насінинами та загальній точності висіву.

У відсутності індивідуального контролю насінини процес подачі має імовірнісний характер. Через нерівномірність гідродинамічного псевдозрідженого шару спостерігалися значні коливання у густоті стояння—до 25–30 %, а також поява групових пропусків. Навіть невеликі коливання тиску в магістралі впливали на інтенсивність подачі, спричиняючи як двійники, так і пропуски. Такий режим роботи не може забезпечити точний овочевий висів.

Застосування дозатора з оптичним контролем та двоконтурним керуванням клапанами забезпечило стабілізацію інтервалів на рівні ± 8 % від норми та зменшення помилкових спрацювань до мінімуму. Кількість пропусків становила лише 1,6 %, а частота двійників залишалась на низькому статистично очікуваному рівні. Система ефективно узгоджувала момент виштовхування з рухом агрегату, що забезпечило точне потрапляння насінини у ложе навіть при легких коливаннях швидкості.

За результатами проведеного багатofакторного експерименту (додаток Є) отримано рівняння регресії визначення точності висіву сівалки η . Експеримент проводився за центрально композитним планом [31] з обраними найбільш впливовими конструктивно-технологічними факторами концентрацією насіння c та довжиною каналу дозатора L .

$$\eta = 19,61 + 264c + 666,67L - 400c^2 - 3333,33L^2 \quad (4.5)$$

де c – концентрація насіння у псевдозрідженому шарі, $c = x_1 = 0,20 \dots 0,45$ шт/см³

L – довжина ствола дозатора $L = x_2 = 0,06 \dots 0,14$ м.

Отже за результатами досліджень побудовано поверхні відгуку точності висіву рис. 3.4.

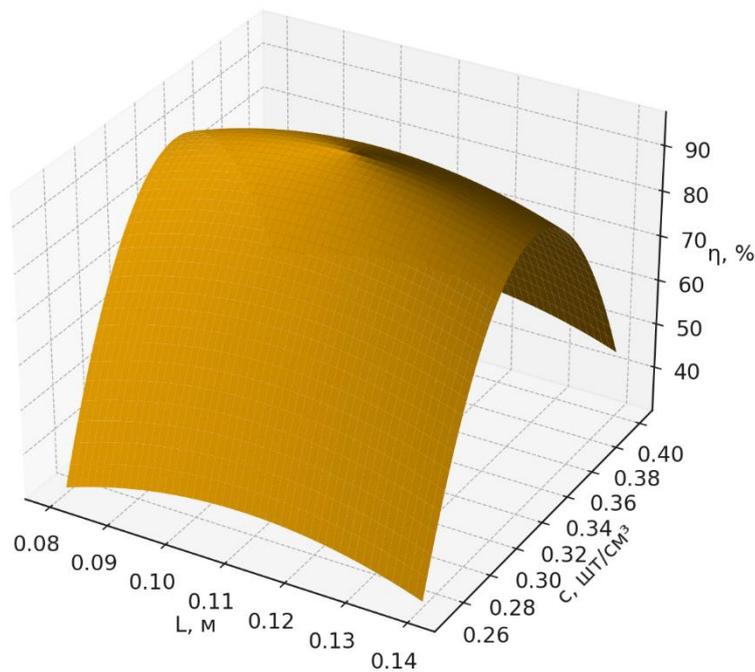


Рисунок 3.4 – Поверхня відгуку

Максимум точності $\eta \approx 96,5\%$ досягається в околі $L=0,11$ $c \approx 0,33$ шт/см³ – це і є область оптимальних параметрів. При зменшенні довжини каналу нижче

0,10 м точність падає через зростання ймовірності пропусків (час заряджання занадто малий, а процес стає більш чутливим до флуктуацій потоку). При збільшенні L до 0,13–0,14 м точність також зменшується – канал стає надто довгим, час заряджання зростає, з'являються пропуски, особливо при малих концентраціях. Для концентрації менше $\sim 0,28\text{--}0,30$ шт/см³–ймовірність пропусків зростає (насінина довше потрапляє у зону відбору). Для концентрацій вище $\sim 0,36\text{--}0,38$ шт/см³–зростає ймовірність двійників, і точність падає з іншого боку.

3.5 Висновки

Експериментальні дослідження підтвердили працездатність гідравлічної овочевої сівалки та ефективність запропонованої конструкції дозатора. Встановлено, що точність висіву визначається перепадом тиску, концентрацією насіння у псевдозрідженому шарі та довжиною висівного каналу, а отримані експериментальні дані добре узгоджуються з теоретичними розрахунками.

Швидкісні дослідження показали оптимальний діапазон перепаду тиску 0,014–0,019 МПа, який забезпечує стабільне заряджання ствола без перевантаження потоку. Польові перевірки довели переваги дозатора: інтервали між насінинами стабілізувались у межах $\pm 3\text{--}5$ %, пропуски становили близько 1,6 %, а частка двійників залишалась мінімальною. Без дозатора рівномірність суттєво погіршувалась і коливалась до 30 %.

Поверхня відгуку показала, що найкраща точність формується при концентрації насіння 0,33 шт/см³, перепаді тиску 0,019 МПа та довжині каналу 0,11 м. Збільшення довжини понад 0,14 м викликає затримки заряджання, тоді як коротші канали (<0,08 м) погіршують формування порції.

Загалом результати доводять, що запропонована конструкція гідросівалки з дозатором забезпечує високу точність висіву й може бути рекомендована до практичного впровадження.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз умов праці та виробничих небезпек під час роботи гідравлічної сівалки у складі агромоста

Робота гідравлічної сівалки у складі агромоста здійснюється в специфічних виробничих умовах, що поєднують у собі дію природних факторів відкритого середовища, роботи мобільної сільськогосподарської техніки та функціонування системи гідравлічного висіву насіння. У процесі експлуатації оператор здійснює контроль руху агромоста, технічний нагляд за роботою дозатора та системи циркуляції робочої рідини, а також періодичне обслуговування вузлів сівалки, що формує комплекс виробничих небезпек, здатних впливати на стан його здоров'я та безпеку.

Особливістю даної конструкції є відсутність рукавів високого тиску, які традиційно використовуються в гідросистемах сільськогосподарської техніки. Робочі магістралі сівалки транспортують воду та повітря під тиском, що не перевищує 0,3 МПа, що істотно знижує ризик гідравлічних травм, пов'язаних зі струменевим проривом рідини, руйнуванням армованих шлангів чи розривом з'єднань. Низький тиск у системі виключає можливість гідроін'єкцій, характерних для високонапірних гідросистем, проте не усуває небезпеку розгерметизації магістралей, неконтрольованого розбризкування рідини та утворення слизьких поверхонь, що може спричинити падіння оператора або втрату стійкості під час пересування по конструкції агромоста.

Польові умови експлуатації створюють додаткові небезпеки, пов'язані з нерівним рельєфом ділянки, наявністю рослинних залишків, ґрунтових частинок та пилу. Робота техніки супроводжується постійною вібрацією та коливаннями конструкції, особливо на ділянках з нерівностями або при русі під дією бокового вітрового навантаження. Це підвищує ризик травмування під час виконання

обслуговування або доступу до дозатора та насінневої камери. Додатковий ризик виникає у випадку, коли оператор вимушений підійматися на конструктивні елементи агромоста для усунення несправностей або очищення вузлів, що збільшує ймовірність падіння з висоти.

Небезпека виникає і під час руху агромоста, оскільки оператор повинен одночасно контролювати переміщення платформи та роботу висівного обладнання. Наявність рухомих елементів, зокрема опорних коліс і напрямних рейок, створює потенційні зони защемлення кінцівок. Потрапляння одягу, інструментів або частин тіла в простір між рухомими деталями може призвести до серйозних травм. Ситуація ускладнюється тим, що обслуговування часто виконується просто неба, де увага оператора може знижуватися внаслідок несприятливих метеорологічних умов.

Важливою складовою аналізу умов праці є оцінка впливу пневматичної системи висіву. Хоча тиск у ній становить лише 0,1–0,2 МПа, імпульсне подання повітря до ствола може викликати раптовий викид рідини або насіння. У випадку блокування вихідного отвору або часткового засмічення насіннепроводу можливий різкий викид суміші, що може потрапити в очі або обличчя оператора. Наявність рідини в робочому контурі підвищує ризик хімічного подразнення шкіри у випадку використання розчинів з добривами або біологічними препаратами.

Електробезпека є окремим важливим аспектом під час аналізу умов праці. Гідравлічна сівалка оснащена системою керування з використанням електрогідравлічних та електропневматичних клапанів, оптичних датчиків і кабельних з'єднань. Робота в умовах високої вологості, падіння атмосферних опадів або контакту рідини з електричними елементами створює ризик короткого замикання та ураження оператора електричним струмом. Попри використання низьковольтного живлення (12 В), існує ймовірність іскріння в місцях пошкодження ізоляції, що є небезпечним під час роботи з легкозаймистими речовинами або сухими рослинними залишками.

Виробниче середовище характеризується підвищеним рівнем шуму, який формується двигуном приводу, роботою компресора, насосного обладнання та рухомими елементами агромота. Тривалий вплив шуму може призводити до зниження слухової чутливості, підвищеної втоми та зниження концентрації уваги, що збільшує ризик помилок керування. Психофізіологічні фактори, такі як тривале перебування у вимушеному положенні, необхідність постійного контролю параметрів роботи та моніторинг стану насінневого процесу, сприяють швидкому фізичному та емоційному виснаженню оператора.

Не менш значущими є кліматичні та метеорологічні умови. Під час високих температур сонячне випромінювання може викликати перегрівання організму, теплові удари та зневоднення. У холодну пору року підвищується ризик переохолодження та обмороження, а також можливе зниження ефективності роботи системи через густішання робочої рідини. Під час грози існує ризик ураження блискавкою, особливо з огляду на металеву конструкцію агромота, що виступає як потенційний провідник електричного розряду.

Пилові та біологічні фактори також впливають на умови праці. Ґрунтовий пил, пилок рослин, мікроорганізми у робочих розчинах можуть викликати алергічні реакції, подразнення дихальних шляхів та слизових оболонок. Тривалий вплив таких факторів без засобів індивідуального захисту підвищує ризик розвитку захворювань органів дихання.

У цілому умови праці під час роботи гідравлічної сівалки у складі агромота можна охарактеризувати як середньої небезпеки. Відсутність у конструкції рукавів високого тиску та механічних дозуючих елементів суттєво знижує ризик важких травм, проте залишається низка небезпечних чинників, пов'язаних із переміщенням техніки, впливом зовнішнього середовища та можливими технічними відмовами. Найбільш критичними є небезпеки, пов'язані з рухом агромота, можливістю падіння оператора, розгерметизацією магістралей і людським фактором при виконанні ремонтних та обслуговувальних робіт. Комплексний аналіз цих факторів є основою для

подальшого розроблення заходів щодо підвищення рівня безпеки та попередження аварійних ситуацій.

4.2 Охорона праці при експлуатації гідросівалки в складі мостової машини

Експлуатація гідросівалки у складі мостової машини пов'язана з дією комплексу виробничих факторів, тому безпечне виконання технологічного процесу вимагає дотримання відповідних інструкцій з охорони праці. Інструкція встановлює вимоги щодо організації безпечної роботи оператора, попередження травмувань та аварійних ситуацій під час проведення висівних робіт [32-33].

До роботи з гідросівалкою допускаються працівники віком від 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання та перевірку знань з охорони праці, а також інструктаж з безпечної експлуатації мостової машини та її обладнання. Оператор повинен знати будову гідросівалки, розташування засобів керування, запірної арматури, аварійних вимикачів та уміти діяти у випадку виникнення позаштатних ситуацій. Під час роботи обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту: захисних рукавичок, окулярів або щитка, спецвзуття з неслизькою підошвою та одягу, що не має вільних елементів, здатних зачепитися за конструктивні вузли.

Перед початком роботи оператор повинен провести зовнішній огляд мостової машини та гідросівалки, перевірити стан рейкових напрямних, наявність сторонніх предметів у зоні переміщення ферми, цілісність магістралей подачі води та повітря, герметичність з'єднань та кріплення дозатора. Особливу увагу необхідно приділяти магістралям подачі рідини, оскільки їх розгерметизація може спричинити розбризкування робочої суспензії, утворення слизьких поверхонь та падіння оператора. Незважаючи на те, що у конструкції гідросівалки відсутні рукави високого тиску, а робочий тиск у системі не

перевищує 0,3 МПа, існує ймовірність різкого викиду рідини або суміші під час пошкодження трубопроводу чи засмічення ствола.

Перед початком роботи необхідно виконати пробний пуск у холостому режимі та переконатися у справності насоса, відсутності протікань, нормальній роботі клапанів і оптичних датчиків. Забороняється запуск обладнання при пошкоджених магістралях, несправних електричних з'єднаннях або знятих захисних кожухах.

Під час роботи оператора забороняється перебувати під рухомою фермою мостової машини, торкатися магістралей під тиском, проводити очистку або ремонт дозатора при працюючому насосі, нахилитися над стволом у момент висіву, а також знаходитися на рейках у зоні руху опорних коліс. У разі появи протікання рідини необхідно негайно зупинити подачу рідини і повітря, усунути причину витoku та висушити змочені поверхні для попередження падіння.

Під час обслуговування вузлів, розташованих на фермі мостової машини, необхідно користуватися стійкою підставкою або спеціальною платформою обслуговування. Забороняється виконувати будь-які роботи на висоті без надійної опори. У разі засмічення ствола чи насіннепроводу категорично забороняється очищати їх при подачі рідини або повітря, оскільки це може призвести до раптового викиду суміші.

Після закінчення роботи необхідно припинити подачу рідини та повітря, вимкнути насос і компресор, злити робочу рідину з магістралей, промити систему чистою водою, очистити камеру псевдозрідженого шару від залишків насіння та виконати огляд обладнання. Забороняється залишати систему під тиском без нагляду.

У випадку аварійних ситуацій оператор повинен діяти відповідно до встановлених правил: при раптовому прориві магістралі – негайно зупинити насос і перекрити подачу повітря; при ураженні електричним струмом – знеструмити систему, надати першу допомогу та викликати медичний персонал;

при пожежі – знеструмити обладнання та застосувати порошковий або вуглекислотний вогнегасник.

Виконання вимог охорони праці є обов'язковим для всіх осіб, що обслуговують гідросівалку у складі мостової машини. Недотримання вимог охорони праці може призвести до травмування персоналу, пошкодження обладнання та виникнення аварійних ситуацій, що тягне за собою відповідальність згідно чинного законодавства та внутрішніх нормативних документів підприємства.

4.3 Дії персоналу в аварійних та надзвичайних ситуаціях

Під час роботи гідросівалки у складі мостової машини можливі ситуації, що потребують негайного реагування для збереження життя та здоров'я персоналу, а також запобігання пошкодженню обладнання та забрудненню навколишнього середовища. Основним завданням оператора у таких випадках є оперативне припинення небезпечного процесу та забезпечення контролю над джерелом небезпеки до моменту усунення причин її виникнення [34-35].

У разі виникнення технічної несправності, яка супроводжується аномальною роботою системи подачі рідини або повітря, першою дією персоналу повинна бути зупинка технологічного циклу шляхом вимкнення привідного обладнання та перекриття подачі робочих середовищ. Це дозволяє усунути енергію, що підтримує аварійний процес, і запобігти його подальшому розвитку. Особливу увагу приділяють швидкому зниженню тиску в магістралях, оскільки навіть незначний надлишковий тиск здатен спричинити повторний викид суміші або раптове переміщення залишків насіння у трубопроводах.

При появі некерованого виходу рідини з елементів системи персонал повинен обмежити розповсюдження забруднення, закрити місце витoku або встановивши тимчасовий бар'єр, а також позначити небезпечну зону для недопущення падіння чи травмування інших працівників. Якщо робоча рідина

містить водорозчинні добрива або біологічні препарати, оператор зобов'язаний запобігти їй попаданню у відкриті водойми та дренажні канали, оскільки це може спричинити локальне забруднення.

Аварійні ситуації, пов'язані із зупинкою дозування насіння, потребують іншого підходу. У таких випадках персонал повинен не лише зупинити подачу рідини, але й запобігти накопиченню насіння у робочих камерах та каналах. Подальше скупчення частинок може призвести до утворення пробок, збільшення навантаження на насос і пошкодження внутрішніх елементів сівалки. Тому після стабілізації системи обов'язковим є контроль стану насінневої камери та поступове видалення залишків насіння із зони відбору.

У випадку раптової відмови електронних систем керування необхідно негайно перевести обладнання у безпечний стан за допомогою аварійного вимикача або ручного відключення живлення. Подальші роботи виконуються тільки після перевірки стану електричних з'єднань та усунення слідів зволоження або механічних пошкоджень. Особливу увагу персонал повинен приділяти ситуаціям, коли електронний блок продовжує подавати сигнали до виконавчих механізмів неконтрольовано, оскільки це може спричинити мимовільний висів або імпульсні дії пневмосистеми.

Надзвичайною вважається ситуація, коли роботу мостової машини унеможливають зовнішні чинники, зокрема різке погіршення погодних умов, поява грози або сильного вітру. У цьому випадку оператор повинен припинити роботу та перемістити техніку у місце, де відсутній ризик ураження блискавкою чи перекидання конструкції. Роботи на висоті та обслуговування зовнішніх вузлів у таких умовах категорично не допускаються.

У разі травмування персоналу першочерговим є припинення впливу травмувального фактора, надання домедичної допомоги та виклик спеціалізованих служб. При підозрі на ураження електричним струмом забороняється наближатися до потерпілого, поки обладнання не буде повністю

знеструмлене. Якщо робоча рідина потрапила в очі або на шкіру, необхідно негайно промити уражені ділянки водою та забезпечити медичний огляд.

Важливою складовою дій персоналу є фіксація обставин аварійної ситуації після її локалізації. Запис причин, проявів та послідовності дій дозволяє у подальшому аналізувати причини виникнення небезпечних випадків та розробляти заходи щодо їх попередження. Такий підхід підвищує загальний рівень безпеки експлуатації гідросівалки та сприяє удосконаленню організаційних і технічних заходів охорони праці.

Злагоджені та своєчасні дії персоналу у надзвичайних ситуаціях є вирішальним фактором мінімізації наслідків аварій, забезпечення безпеки працівників і збереження працездатності обладнання. Тому підготовка операторів, їх навченість і регулярне відпрацювання алгоритмів реагування мають ключове значення в системі безпечної експлуатації гідросівалки у складі мостової машини.

4.4 Висновки

В результаті проведеного аналізу встановлено, що експлуатація гідросівалки у складі мостової машини супроводжується дією комплексу виробничих факторів, пов'язаних із переміщенням великогабаритної конструкції, використанням водяних і пневмомагістралей та функціонуванням електронних систем керування. Водночас завдяки відсутності рукавів високого тиску та застосуванню робочих середовищ із невеликим надлишковим тиском (до 0,3 МПа) рівень потенційної травмонебезпеки є нижчим порівняно з традиційними гідравлічними агрегатами. У розділі сформовано комплекс організаційних і технічних заходів, що забезпечують безпечні умови праці оператора, визначено вимоги до підготовки персоналу, регламентовано порядок дій під час експлуатації та обслуговування обладнання.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

5.1 Загальна характеристика та методика оцінювання ефективності гідросівалки

Ефективність застосування овочевої гідросівалки у складі мостової машини визначається сукупністю технічних, технологічних та економічних показників, серед яких ключове значення мають: рівномірність розміщення насіння, стабільність витрат робочої рідини, продуктивність агрегату та економічний результат від підвищення врожайності.

На відміну від традиційних механічних сівалок точного висіву, гідросівалка працює на принципі контрольованого гідропотоку та дозованого переміщення насіння через ствол за допомогою стисненого повітря з мінімальною вірогідністю пошкодження та вторинного відскоку. Це дозволяє значно зменшити кількість пропусків та двійників, а також забезпечити стабільну густоту стояння рослин, що є критично важливим у вирощуванні овочевих культур з високою вартістю гектару посівів.

Порівняння проводиться між базовим (ГПСТВ–2,1-гідропневматична сівалка точного висіву розроблена у ДДАЕУ) та проєктним (СГО–2,1 сівалка гідравлічна овочева), при однакових умовах експлуатації та на однаковій площі посівів.

5.2 Техніко-технологічні показники роботи гідросівалки

Технологічна ефективність сівалки визначається параметрами рівномірності висіву. У гідросівалці СГО–2,1 реалізовано:

- гідродинамічний дозатор з оптичним контролем насіння;
- стабілізований тиск у магістралі рідини (0,3 МПа);
- пневмоімпульсний виштовхувач, який формує швидкість насіння в межах 10–15 м/с;

- відсутність механічних тертьових вузлів подачі насіння.

Така конструкція зменшує травмування насіння майже до нуля та забезпечує точність розміщення 96,5 %, що на 3,2 % вище від базового зразка.

Суттєве значення має поточна швидкість агрегату. Для стрічкової схеми висіву 70×35 мм проєктний зразок забезпечує стабільну роботу при швидкості 4 км/год без погіршення точності. Детально основні показники для проведення розрахунку наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Вихідні дані до розрахунку ефективності використання гідросівалки

Показники	Варіант	
	Базовий	Проектний
Склад агрегату	Агроміст+ ГПСТВ-2,1	Агроміст+ СГО-2,1
Операція	посів овочів	посів овочів
Площа посівів, га	16	16
Кількість посівних секцій	3	3
Вартість сівалки, грн	98850	12130
Потужність енергетичної установки, кВт	1,8	1,8
Точність висіву, %	93,3	96,5
Швидкість руху сівалки, км/год	4,3	4
Схема висіву овочів	стрічкова 70X35	стрічкова 70X35
Коефіцієнт використання змінного часу	0,78	0,78
Середнє значення робочої ширини захвату агрегату, м	2,1	2,1
Вартість електроенергії, грн/кВт	10,5	10,5
Кількість працівників, що обслуговують машину, люд	1	1
Тарифна ставка, грн/год	124,25	124,25

5.3 Розрахунок польової продуктивності гідросівалки

Польова продуктивність визначається формулою [38]:

$$W = \frac{B \cdot v \cdot \eta}{10}, \text{ га/год} \quad (5.1)$$

де B – ширина захвату, м;

$v_{\text{сiв}}$ – робоча швидкість, км/год;

η – коефіцієнт використання часу зміни.

Для двох варіантів:

Базовий (ГПСТВ–2,1):

$$W_{\text{б}} = 2,1 \cdot 4,3 \cdot 0,7810 = 0,704 \text{ га/год}$$

Проектний (СГО–2,1):

$$W_{\text{п}} = 2,1 \cdot 4,0 \cdot 0,7810 = 0,655 \text{ га/год}$$

Зниження швидкості у проектному варіанті компенсується підвищеною точністю висіву, що дає загальний приріст врожайності.

5.4 Економічні показники роботи гідросівалки

До прямої собівартості посівної операції відносять:

1. витрати електроенергії (енергоблок $E_{\sigma}=1,8$ кВт)
2. зарплату оператора
3. амортизацію сівалки
4. додатковий економічний ефект від підвищення точності висіву

Витрати електроенергії

При потужності електроприводу $E_6 = 1,8$ кВт і тривалості зміни $T_6 = 8$ год:

$$E_e = E_6 \cdot T_6 = 1,8 \cdot 8 = 14,4 \text{ кВт /зм} \quad (5.2)$$

Значення витрат на електроенергію протягом зміни:

$$C_{ез} = E_e \cdot C_e = 14,4 \cdot 10,5 = 151,2 \text{ грн/зм} \quad (5.3)$$

де C_e вартість електроенергії згідно тарифу $C_e = 10,5$ кВт/год

Витрати за сезон становитимуть:

$$C_{ес} = T_{сез} \cdot E_6 \cdot C_e, \text{ грн/зм} \quad (5.4)$$

де $T_{сез}$ – час завантаженості агрегату протягом сезону, год

$$T_{сез} = \frac{S_{п}}{W}, \text{ год} \quad (5.5)$$

Базовий:

$$T_{сезб} = \frac{16}{0,704} = 22,72 \text{ год}$$

Проектний:

$$T_{сезб} = \frac{16}{0,655} = 24,43 \text{ год}$$

Тоді:

$$C_{есб} = 22,72 \cdot 1,8 \cdot 10,5 = 429,4 \text{ грн/зм}$$

$$C_{есп} = 24,43 \cdot 1,8 \cdot 10,5 = 461,7 \text{ грн/зм}$$

Заробітна плата оператора

$$C_{зп} = C_{ст} \cdot T_{сез}, \text{ грн} \quad (5.6)$$

$C_{ст}$ – тарифна ставка, грн/год.

Базовий

$$C_{зпб} = 124,25 \cdot 22,72 = 2822,96 \text{ грн}$$

Проектний

$$C_{зпп} = 124,25 \cdot 24,43 = 3035,42 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування

Методика приймає 10 % на рік:

$$A = 0,1 \cdot C_{сів} \text{ грн/рік} \quad (5.7)$$

де $C_{сів}$ – вартість гідросівалки, грн.

Базовий:

$$A_b = 0,1 \cdot 98850 = 9885 \text{ грн/рік}$$

Проектний:

$$A_p = 0,1 \cdot 121300 = 12130 \text{ грн/рік}$$

Експлуатаційні витрати на ремонт та обслуговування:

Методика приймає 12 % на рік

$$B_t = 0,12 \cdot C_{сів}, \text{ грн/рік} \quad (5.8)$$

Базовий:

$$B_{tb} = 0,12 \cdot 98850 = 11862 \text{ грн/рік}$$

Проектний:

$$B_{tp} = 0,12 \cdot 121300 = 14556 \text{ грн/рік}$$

Тоді загальні експлуатаційні витрати становитимуть:

$$Взаг = Сес + Сзп + А + Вт, \text{ грн} \quad (5.9)$$

Базовий:

$$Взагб = 429,4 + 2822,96 + 9885 + 11862 = 24\,999,36 \text{ грн.}$$

Проектний:

$$Взагп = 461,7 + 3035,42 + 12130 + 14556 = 30\,183,12 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від підвищення точності висіву

Зростання точності на 3,2 % → приріст урожайності приблизно $\delta_y = 3,84\%$
 $\delta_y = 0,0384$ Для середньої урожайності овочевих культур $В_0 = 30\text{--}40$ т/га приріст становитиме:

$$П_{ур} = \delta_y \cdot В_0 = 0,0384 \cdot 40 = 1,53 \text{ т/га} \quad (5.10)$$

Економічний ефект від приросту врожайності $Ев$ становить:

$$Ев = П_{ур} \cdot S_{п} \cdot Вк = 1,53 \cdot 16 \cdot 5000 = 122800 \text{ грн} \quad (5.11)$$

де $Вк$ – середня вартість продукції, $Вк = 5000$ грн/т.

Загальна економічна ефективність:

$$Езаг = Експ + Ев = (Взагп - Взагб) + Ев \quad (5.12)$$

$$Езаг = (24\,999,36 - 30\,183,12) + 122800 = 117616,24 \text{ грн.}$$

Термін окупності визначається:

$$T = \frac{K}{Езаг} = \frac{(C_{сivп} - C_{сivб})}{Езаг} = \frac{22450}{117616,24} = 0,2 \text{ року} \quad (5.13)$$

де K – додаткові інвестиції, грн;

Таблиця 5.2 – Техніко-економічне обґрунтування використання гідросівалки

Показник	Базовий	Проектний	Порів.
Склад агрегату	Агроміст+ ГПСТВ-2,1	Агроміст+ СГО-2,1	-
Операція	посів овочів	посів овочів	-
Площа посівів, га	16	16	-
Точність висіву, %	93,3	96,5	3,2
Вартість сівалки, грн	98 850	121 300	22 450
Швидкість руху сівалки, км/год	4,3	4	-0,3
Польова продуктивність, га/год	0,704	0,655	-0,049
Схема висіву овочів	стрічкова 70X35	стрічкова 70X35	-
Середнє значення робочої ширини захвату агрегату, м	2,1	2,1	-
Вартість електроенергії, грн/кВт	10,5	10,5	
Витрати на електроенергію, грн	429,4	461,7	32,2
Амортизація, грн/рік	9885	12130	2245
Експлуатаційні та інші витрати	11862	14556	2694
Економічний ефект з урахуванням приросту врожайності, грн	117616,24		
Додаткові інвестиції, грн	22450		
Термін окупності, років	0,2		

5.5 Висновки

Проведене техніко-економічне обґрунтування підтвердило доцільність застосування гідравлічної овочевої сівалки СГО-2,1 у складі агромота. Впровадження керованого гідродинамічного дозатора та пневмоімпульсного механізму висіву забезпечило підвищення точності розміщення насіння до 96,5 %, що перевищує показники базового варіанта на 3,2 %. Поліпшення рівномірності посіву зумовило збільшення урожайності овочевих культур приблизно на 3,8 %, що дає істотний додатковий економічний результат.

Незважаючи на дещо більшу вартість проєктної сівалки, сукупний економічний ефект за сезон становить близько 117,6 тис. грн. Різниця в експлуатаційних витратах компенсується приростом продукції, а термін окупності додаткових інвестицій не перевищує 0,2 року. Це свідчить про високу ефективність модернізації та перспективність використання гідросівалки СГО-2,1 у технологіях точного овочевого землеробства.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У магістерській роботі виконано комплексне теоретичне, експериментальне та техніко-економічне обґрунтування застосування гідравлічної овочевої сівалки у складі мостової машини. Основні результати згруповано відповідно до структури роботи.

Встановлено, що традиційні механічні та пневматичні сівалки не здатні забезпечити високу рівномірність посіву дрібнонасієних овочевих культур. Виявлено їхні ключові недоліки—значна варіативність інтервалів, підвищене травмування насіння та залежність від якості ґрунту. Аналіз сучасних тенденцій підтвердив перспективність гідравлічних та мехатронних систем точного висіву, особливо в умовах організації посіву за координатним принципом у мостовому землеробстві.

Розроблено теоретичну модель руху насіння у рідинному та пневматичному середовищі, визначено умови формування стійкого псевдозрідженого шару та встановлено критичні швидкості осідання частинок. Отримано залежності часу заряджання ствола від конструктивних параметрів дозатора, що дало змогу визначити оптимальну довжину каналу ($\approx 0,11$ – $0,14$ м) і швидкість руху насіння ($0,7$ – $0,8$ м/с). Показано, що запропонована схема дозатора забезпечує частоту роботи до 10 Гц, що відповідає інтервалам між висівами 5–50 см.

Польові та лабораторні дослідження підтвердили працездатність гідродинамічного дозатора. Використання оптичного контролю дозволило зменшити кількість двійників до 1,9 %, а пропусків – до 1,6 %, що на порядок краще порівняно з варіантом без дозатора. Побудована поверхня відгуку засвідчила, що точність висіву максимальна за концентрації 0,30–0,35 шт/см³ та довжині каналу близько 0,11 м. Розбіжність між теоретичними і фактичними значеннями часу заряджання не перевищила 5 %, що свідчить про коректність моделі.

Проведено аналіз можливих ризиків при роботі гідросівалки та визначено, що відсутність робочих тисків понад 0,3 МПа, рукавів високого тиску й механічних обертових дозувальних елементів значно знижує небезпеку виробничого травматизму. Розроблено інструкції з безпечної експлуатації та дії персоналу у разі аварійних ситуацій. Доведено, що конструкція сівалки відповідає вимогам безпечної роботи у відкритих польових умовах.

Розраховано показники економічної ефективності застосування гідравлічної сівалки СГО-2,1 порівняно з базовою ГПСТВ-2,1. Підвищення точності на 3,2 % забезпечило приріст урожайності близько 1,5 т/га, що для площі 16 га становить додатковий дохід 122,8 тис. грн за сезон. Попри більшу вартість сівалки, термін окупності становить лише 0,2 року. Це доводить високу економічну доцільність впровадження конструкції у виробництво.

Розроблена гідравлічна овочева сівалка з оптичним однозерновим дозатором та інтеграцією у систему мостового землеробства забезпечує істотне підвищення точності висіву, стабільність інтервалів між насінинами та економічний ефект. Її конструкція підтвердила технічну, технологічну та економічну ефективність і може бути рекомендована для широкого впровадження у сучасне овочівництво.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Забродоцька Л. Ю. Основи агрономії: навч. посібник. Луцьк: Інф.-вид. відділ Луцького НТУ, 2019. 360 с.
2. Pastukhov V., Boiko V., Tesliuk H., Ulexin V., Kyrychenko R. Study of Seed Agitation in the Fluid of a Hydropneumatic Precision Seeder. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. 5/1 (107): 36–43. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.212517.
3. Bulgakov V., Kuvachov V., et al. A Wide Span Tractor: Advantages and Field Performance within Controlled Traffic Farming. *Journal of Agricultural Engineering*. 2021. (доступний повний текст). А також: Kuvachov V. The Study Wide Span Tractor (Vehicles) for Agriculture. *Proceedings of AMT*. 2020: 232–236.
4. Method and system for high-pressure liquid injection of turf seeds: US Patent US6722298B2. 2004. (Рішення щодо подачі рідинно-насінневої суміші під тиском у ґрунт).
5. Raveendran G., Ramasamy R., Arulmozhiselvan K. A Comprehensive Systematic Review of Precision Planting Technologies. *Agriculture*. 2025. Vol. 15(9): 309. DOI: 10.3390/agriculture15090309.
6. Петров П. В., Посполітак Т. Є., Юркевич Є. О. Агротехнологія і технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур: навч. посібник. Київ: Аграрна освіта, 2009. 268 с.
7. Бойко В.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву насіння овочевих культур : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва / Бойко Владислав Борисович ; Дніпровський держ. аграрно-екон. ун-т, Таврійський держ. агротехнол. ун-т ім. Дмитра Моторного. – Мелітополь, 2021. – 166 с

8. Сівалка вакуумна точного висіву СВТВ-4 «Дніпрянка» : техн. характеристика і опис / ПП «Агросервистрактор». – Дніпро : ПП «Агросервистрактор», [без р. р.] – 1 арк.
9. Сівалка овочева точного висіву Gaspardo OLIMPIA-4F : технічний опис / Maschio Gaspardo S.p.A. – Камподарсего (Італія) : Maschio Gaspardo, 2023. – 12 с.
10. Інститут овочівництва і баштанництва НААН України. Гідравлічні технології висіву овочевих культур : науково-технічний звіт / ІОБ НААН України. – Харків, 2020. – 15 с/
11. Мостове землеробство. Елементи теорії та результати досліджень: Монографія [Кобець А.С., Теслюк Г.В., Пугач А.М., Надикто В.Т., Улексін В.О. Бойко В.Б., Теслюк Ю.В., Золотовська О.В.]. – Дніпро: ТОВ «Акцент ПП», 2022. – 340 с.
12. Улексін В.О., Бойко В.Б. Обґрунтування параметрів дозатора для гідропневматичного висівного апарата. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2015. Вип. 156. С. 52-60.
13. 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.
14. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації: пат. 90998 Україна: МПК А01С7/04. № а 200601288; заявл. 09.02.2006; опубл. 25.06.2010, Бюл. № 12
15. ДСТУ ISO 7256-1:2005. Обладнання для сівби. Методи випробування. Частина 1. Сівалки одно-насінневі (сівалки точного висіву (ISO 7256-1:1984, ІДТ). [Чинний від 2007-07-01]. Київ, 2007. 19 с. (Інформація та документація).
16. Ралдугін М. Сівалки для українських ланів. Техніка АПК. 2006. № 4. С. 22-23.
17. Сисолін П.В., М.О. Свірень. Висівні апарати сівалок. Кіровоград. 2004. 160 с.

18. Решетило О.М. Обґрунтування параметрів пневматичного апарата внутрішнього заповнення для точного висіву насіння зернових колосових культур: дис. канд. тех. наук: 05.05.11/ Луцький держ. тех. ун-т. Луцьк, 2005. 186 с.
19. Бойко В.Б. Теоретичні дослідження процесу формування псевдозрідженого шару в гідро-пневматичному висівному апараті. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Всеукр. наук.-техн. журнал ВНАУ. Вінниця. 2015. Вип. 3. С. 10-16.
20. Бойко В.Б. Експериментальне визначення рівномірності висіву насіння гідросівалкою. Технічні науки: Збірник наукових праць ВНАУ. Вінниця. 2012. Вип. 11. Т.1 (65). С. 89-94.
21. Tillett and Hague Past Projects. Robocrop Vision Guidance. : веб-сайт. URL: <http://www.thtechnology.co.uk/> (дата звернення: 13.10.2025).
22. Шведик М.С. Методика оцінки рівномірності координатно-однозернового посіву. Наукові нотатки. Луцьк. 1993. С. 108-114.
23. Лященко П.В. Гравитационные методы обогащения. М.-Л.: ГНТИ нефтяной и горно-топливной литературы. 1940. 360 с.
24. Дідур В.А., Савченко О.Д., Пастушенко С.І., Мовчан С.І. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. Запоріжжя: Прем'єр. 2005. 464 с
25. Chen N.H. An Explicit Equation for Friction factor in Pipe. Ind. Eng. Chem. Fundam. 1979. Vol.18, No. 3. P. 296-297.
26. Sang Won Han. Study on the Particle Removal Efficiency of Multi Inner Stage Cyclone by CFD Simulation. World Academy of Science, Engineering and Technology. Vol. 6. 2012. P. 411-415.
27. Kubicki D. Slurry transport in a pipeline – Comparison of CFD and DEM models. Ninth International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. CSIRO, Melbourne, Australia. 2012. P. 1-6.

28. Satish G., Kumar A., Prasad V., Sk.M. Pasha. Comparison of flow analysis of a sudden and gradual change of pipe diameter using fluent software. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. Vol. 2. 2013. P. 41-45.
29. Бойко В. Б. Дослідження точності висіву насіння овочевих культур координатним гідро-пневматичним висівним апаратом. Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2018. Вип. 190. С. 45-52.
30. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2019. 268 с.
31. Murza, M.A. Influence of intensity of illumination on weed recognition algorithm / M.A. Murza, A.I. Dyshenko// E3S Web Conf. 193 01058. – 2020. – P.8.
33. НПАОП 0,00-1,76-15, Правила охорони праці під час роботи з хімічними речовинами, – К.: Мінсоцполітики, 2015, – 84 с,
34. НПАОП 0,00-1,28-10, Правила охорони праці під час експлуатації сільськогосподарської техніки, – К.: Мінпраці, 2010, – 112 с,
35. ДСТУ EN ISO 12100:2014, Безпечність машин, Загальні принципи конструювання, – К.: Мінекономрозвитку України, 2015, – 92 с,
36. НПАОП 40,1-1,21-98, Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, – К.: Мінпаливенерго України, 1998, – 120 с,
37. Основи охорони праці: підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с.
38. Черниш С.С.. Економічний аналіз. - К: видавничий центр учбової літератури, 2010. – 313 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Вихідні дані для проектування та дослідження гідросівалки

№ п/п	Найменування параметра	Одиниці вимірювання	Значення
1	2	3	4
1	Робоча рідина	–	Вода
2	Густина робочої рідини	кг/м ³	1000
3	Динамічна в'язкість	Па·с	$1 \cdot 10^{-3}$
4	Тип насіння	–	Овочеві культури (капуста, томат, перець тощо)
5	Еквівалентний діаметр насінини	м	$(2,0-3,0) \cdot 10^{-3}$
6	Концентрація насіння в псевдозрізженому шарі (робоча)	нас/см ³	0,25-0,33
7	Максимальна концентрація для аналізу	нас/см ³	0,33
8	Об'єм забірної камери	л	0,1–0,2
9	Витрата рідини через забірну камеру	м ³ /год	0,1–0,3
10	Спосіб збурення	–	Циркуляційний потік від помпи
11	Об'єм разового забору суспензії	см ³	1,0
12	Діаметр каналу дозатора	м	0,01
13	Довжина ділянки заряджання	м	0,09

1	2	3	4
14	Робочий діапазон швидкості суспензії в дозаторі	м/с	0,5–1,0
15	Ефективний перепад тиску в дозаторі	Па	500–1500
16	Емпіричний коефіцієнт втрат у дозаторі	–	0,6–0,7
17	Діаметр ствола	м	0,015
18	Довжина ствола (від дозатора до насінневого ложа)	м	0,28
19	Об'єм рідини у стволі при зарядженні	см ³	2
20	Тиск повітря в пневмосистемі	МПа	0,10–0,20
21	Оціночна швидкість виштовхування насінини	м/с	0,8–1,2)
22	Робоча швидкість руху мостової машини	м/с	0,4–0,6
23	Відстань між рослинами в рядку	м	0,05–0,50
24	Відстань між рядками	м	0,25–0,70
25	Продуктивність однієї секції за насінням	нас/год	2 500–7 000
26	Витрата рідини на одну секцію	л/год	5–14
27	Кількість висівних секцій під агроміст	шт	1-3

Додаток Б

Дослідження впливу перепаду тиску на швидкість насінини

№ п/п	Перепад тиску Δp , Па	Швидкість насінини v , м/с
1	500	0,62
2	800	0,78
3	1000	0,88
4	1300	1,00
5	1600	1,11
6	2000	1,24
7	2500	1,39
8	3000	1,52

Додаток В

Дослідження впливу довжини каналу дозатора на час заряджання насіння

№ п/п	Довжина каналу L, см	t при v=0,5 м/с, мс	t при v=0,6 м/с, мс	t при v=0,7 м/с, мс	t при v=0,8 м/с, мс	t при v=0,9 м/с, мс
1	10	200	167	143	125	111
2	15	300	250	214	188	167
3	20	400	333	286	250	222
4	25	500	417	357	313	278
5	30	600	500	429	375	333
6	35	700	583	500	438	389

Додаток Г

Дослідження ймовірності висіву двійників

λ	P(n>1), частка	P(n>1), %
0,1	0,0047	0,47
0,2	0,0175	1,75
0,3	0,0369	3,7
0,5	0,0902	9,0
0,8	0,1912	19,1
1,0	0,2642	26,4

$\lambda \approx 0,2-0,3 \rightarrow$ подвійний висів трапляється рідко (1,7–3,7 % циклів),

$\lambda \approx 0,5 \rightarrow$ уже майже кожен десятий висів – з двома насінинами,

$\lambda \geq 0,8 \dots 1,0 \rightarrow$ кожен п'ятий–четвертий цикл дає дві і більше насінини, це вже погано для точного посіву,

Додаток Д

Результати теоретичних досліджень продуктивності сівалки

Інтервал між висівами, см	Робоча швидкість, м/с	Швидкість, км/год	Максимальна продуктивність, га/год
5	0,33	1,2	0,19
10	0,67	2,4	0,38
20	1,33	4,8	0,76
30	2,00	7,2	1,13
40	2,00 (обмежено агротехнічно)	7,2	1,13

Додаток Є

Багатофакторний композиційний план визначення точності висіву

№ досліду	Тип точки	(x1)	(x2)	(c), шт/см ³	(L), м	(η), %
1	Факторний	-1	-1	0,200	0,06	84,4
2	Факторний	-1	1	0,200	0,14	84,4
3	Факторний	1	-1	0,450	0,06	85,4
4	Факторний	1	1	0,450	0,14	85,4
5	Зірковий (c)	-1,414	0	0,148	0,10	83,3
6	Зірковий (c)	1,414	0	0,502	0,10	84,7
7	Зірковий (L)	0	-1,414	0,325	0,043	85,8
8	Зірковий (L)	0	1,414	0,325	0,157	85,8
9	Центр	0	0	0,325	0,10	96,5
10	Центр	0	0	0,325	0,10	96,5
11	Центр	0	0	0,325	0,10	96,5
12	Центр	0	0	0,325	0,10	96,5
13	Центр	0	0	0,325	0,10	96,5